

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO  
TÉRMICO AO USUÁRIO DO SG 11**

**GUILHERME BERNARDES MAGALHÃES**

**ORIENTADOR:**  
**PROF. Dr. EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU**

**EXAMINADOR INTERNO:**  
**PROF. MSc. ELEUDO ESTEVES DE A. SILVA JUNIOR**

**EXAMINADOR EXTERNO:**  
**PROF. MSc. ROSANA STOCKLER CLÍMACO**

**BRASÍLIA / DF: 03/12/2014**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO  
TÉRMICO AO USUÁRIO DO SG 11**

**GUILHERME BERNARDES MAGALHÃES**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**EVANGELOS DIMITRIOS CHRISTAKOU, Dr. (UnB-ENC)**  
(ORIENTADOR)

---

**ELEUDO ESTEVES DE A. SILVA JUNIOR, MSc. (UnB-ENC)**  
(EXAMINADOR INTERNO)

---

**ROSANA STOCKLER CLÍMACO, MSc. (UnB-FAU)**  
(EXAMINADOR EXTERNO)

**DATA: BRASÍLIA/DF, 03 DE DEZEMBRO DE 2014.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MAGALHÃES, GUILHERME BERNARDES

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO TÉRMICO AO USUÁRIO DO SG 11, 2014.

xii, 106p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2014)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Faculdade de Tecnologia      2. Reforma  
3. Conforto ao usuário      4. Eficiência Energética  
I. ENC/FT/UnB      II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAGALHÃES, G.B.(2014). **Análise da Eficiência Energética e Conforto Térmico ao Usuário do SG 11**. Brasília.

Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF- Dezembro/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Bernardes Magalhães.

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise da Eficiência Energética e Conforto Térmico ao Usuário do SG 11.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2014

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Guilherme Bernardes Magalhães

SQN 209 Bloco A Apartamento 502, Asa Norte

70854-010 – Brasília/DF – Brasil

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA .....</b>	<b>6</b>
3.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES .....	6
3.2	VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS .....	8
3.3	DESEMPENHO TÉRMICO .....	10
3.4	VENTILAÇÃO.....	15
3.5	VARIÁVEIS CLIMÁTICAS .....	18
<b>4.</b>	<b>HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO SG 11 .....</b>	<b>26</b>
<b>5.</b>	<b>DISPOSITIVOS NORMATIVOS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO ...</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES.....</b>	<b>43</b>
<b>7.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
<b>8.</b>	<b>MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO NO SOFTWARE .....</b>	<b>46</b>
<b>9.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>
9.1	AVALIAÇÃO DO DIA TÍPICO DE VERÃO.....	68
9.2	AVALIAÇÃO DO DIA TÍPICO UTILIZADO DE VERÃO .....	76
9.2.1	ESTRATÉGIA 1 .....	77
9.2.2	ESTRATÉGIA 2 .....	80
9.2.3	ESTRATÉGIA 3 .....	84
9.2.4	ESTRATÉGIA 4 .....	87
9.2.5	ESTRATÉGIA 5 .....	91
9.3	AVALIAÇÃO DO DIA TÍPICO DE INVERNO .....	96
<b>10.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>101</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolução da emissão de carbono ao longo dos últimos 650 mil anos.....	3
Figura 3.1.1: Consumo de energia elétrica no Brasil em 2012 .....	7
Figura 3.2.1: Formas diferentes para o mesmo volume .....	8
Figura 3.3.1: Transmissões de radiação em fechamentos .....	10
Figura 3.3.2: As três fases da transmissão de calor em fechamentos opacos .....	11
Figura 3.3.3: Transmitâncias térmica Fonte:.....	12
Figura 3.3.4: Comportamentos do vidro ao receber Radiação solar .....	14
Figura 3.3.5: Exemplo de Light shelf.....	15
Figura 3.4.1: Efeito Chaminé .....	16
Figura 3.4.2: Ventilação cruzada (à esquerda) e ventilação unilateral (à direita) .....	16
Figura 3.5.1: Edifício Seagram, projetado pelo arquiteto Ludwig Mies van der Rohe aplicando o estilo internacional, construído entre 1954 e 1958.....	18
Figura 3.5.2: Carta Bioclimática adotada para o Brasil .....	22
Figura 3.5.3: Carta Bioclimática de Brasília .....	23
Figura 4.1: Implantação do SG 11 .....	27
Figura 4.2: Fachadas sudeste e sudoeste do SG 11. ....	28
Figura 4.3: Desenho a próprio punho do arquiteto João Filgueiras, o Lélé. ....	28
Figura 4.4: Planta baixa do pavimento térreo do SG 11, mostrando a divisão realizada.....	29
Figura 4.5: Planta baixa do pavimento térreo do SG 11, lado A.....	30
Figura 4.6: Planta baixa do pavimento térreo do SG 11, lado B.....	30
Figura 4.7: Planta baixa do pavimento superior do SG 11, lado A.....	31
Figura 4.8: Planta baixa do pavimento superior do SG 11, lado B .....	31
Figura 4.9: Vista dos dois pavimentos da edificação, com a indicação de alguns elementos construtivos .....	32
Figura 4.10: Vista interna do detalhe da junção entre as placas de concreto do revestimento externo e as pequenas estruturas de concreto.....	32
Figura 4.11: Vista interna do pavimento térreo do SG 11 .....	33
Figura 4.12: Vista externa do sistema de travamento do revestimento externo opaco presente no pavimento térreo.....	33
Figura 4.13: Detalhe da divisória interna encontrada no SG 11 .....	34
Figura 4.14: Detalhe da laje que separa os dois pavimentos.....	34

Figura 4.15: Vista da fachada principal da edificação .....	35
Figura 4.16: Vista do avanço da cobertura na interseção entre as fachada nordeste noroeste .	35
Figura 4.17: Detalhe da tipologia construtiva do sistema de cobertura .....	36
Figura 5.1: Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....	38
Quadro 5.1: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de verão .....	39
Quadro 5.2: Critério para avaliação de desempenho térmico do para condições de inverno ..	39
Quadro 5.3: Transmitância térmica das parede exteriores .....	40
Quadro 5.4: Capacidade térmica das parede exteriores .....	40
Quadro 5.5: Critérios para coberturas quanto à Transmitância.....	40
Figura 5.2: Escala sétima da ASHRAE de conforto térmico de Fanger PMV.....	42
Figura 7.1: Fluxograma de atividades .....	45
Figura 8.1: Dimensionamento do modelo .....	47
Figura 8.2: Como criar um novo projeto.....	48
Figura 8.3: Caracterização inicial do projeto .....	48
Figura 8.4: Caracterização inicial da construção .....	49
Figura 8.5: Importação do arquivo DXF para o software. ....	49
Figura 8.6: Modelagem do bloco que representa o pavimento térreo .....	50
Figura 8.7: Pavimento térreo modelado .....	50
Figura 8.8: Pavimento superior modelado .....	51
Figura 8.9: Modelagem geométrica da edificação .....	51
Figura 8.10: Renderização do modelo da edificação do SG 11, indicando o norte e a fachada principal.....	53
Figura 8.11: Representação do percentual do tipo de zona na edificação.....	54
Figura 8.12: Classificação da atividade de uma zona e declaração da densidade de ocupação	55
Figura 8.13: Controle de temperaturas do ambiente. ....	57
Figura 8.14: Ganhos de temperatura devido à máquinas de computador e outras.....	57
Figura 8.15: Material usado na vedação externa opaca, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita) .....	60
Figura 8.16: Material usado na laje, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita) .....	60
Figura 8.17: Material usado na laje rebaixada, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita) .....	61
Figura 8.18: Material usado na vedação interna, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita) .....	61

Figura 8.19: Material usado no piso do pavimento superior, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita) .....	62
Figura 8.20: Configuração de fechamento transparente utilizada para o pavimento térreo (à esquerda) e para o pavimento superior (à direita) .....	62
Figura 8.21: Características do vidro usado nas janelas .....	63
Figura 8.22: Opções de posicionamento das luminárias no <i>DesignBuilder</i> .....	64
Figura 8.23: Iluminação utilizada no software .....	64
Figura 8.24: Etiquetagem de iluminação conforme o INMETRO .....	65
Figura 8.25: Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado considerados (AVAC) .....	65
Figura 9.1: Resultados da simulação mensal para o período de um ano .....	67
Figura 9.2: Resultados da simulação diária para o período de um ano .....	67
Figura 9.1.1: Identificação das zonas avaliadas e a orientação de suas fachadas para o pavimento superior .....	72
Figura 9.1.2: Identificação das zonas avaliadas e a orientação de suas fachadas para o pavimento térreo .....	72
Figura 9.2.2.1: Descrição da tipologia construtiva utilizada na estratégia 1 para cobertura (à esquerda) e vista em corte da tipologia construtiva (à direita) .....	78
Figura 9.2.2.2: Transmitância térmica obtida para a cobertura utilizada na estratégia 2 .....	78
Figura 9.2.1.3: Comparação entre o cenário atual e alterado para a estratégia 1 do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão .....	79
Figura 9.2.2.1: Vista em corte da tipologia construtiva utilizada na estratégia 2 .....	81
Figura 9.2.2.2: Transmitância térmica obtida para o sistema de cobertura utilizado na estratégia 2 .....	81
Figura 9.2.2.3: Comparação entre o cenário atual e alterado 2 do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão .....	82
Figura 9.2.2.4: Comparação entre o cenário atual e alterado 2 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão .....	83
Figura 9.2.3.1: Comparação entre o cenário atual e alterado 3 do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão .....	85
Figura 9.2.3.2: Comparação entre o cenário atual e alterado 3 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão .....	86
Figura 9.2.4.1: Vista em corte da tipologia construtiva utilizada como vedação vertical externa na estratégia 4 .....	88

Figura 9.2.4.2: Comparação entre o cenário atual e alterado 4 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão .....	89
Figura 9.2.4.3: Comparação entre o cenário atual e alterado 4 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão .....	90
Figura 9.2.5.1: Comparação entre o cenário atual e alterado 5 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão .....	93
Figura 9.2.5.2: Comparação entre o cenário atual e alterado 5 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão .....	94
Figura 9.3.1: Resumo dos dias analisados neste trabalho .....	100



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2.1: Resumo das variáveis arquitetônicas.....	9
Tabela 3.3.1: Emissividades de alguns.....	12
Tabela 3.5.1: Estratégia Bioclimática (em%).....	24
Tabela 3.5.2: Temperatura BIN para Brasília anual.....	24
Tabela 3.5.3: Temperatura BIN para Brasília no mês de junho .....	25
Tabela 3.5.4: Temperatura BIN para Brasília no mês de julho .....	25
Tabela 5.1: Dias típicos de verão e inverno .....	38
Tabela 5.2: Resumo dos critérios mínimos de desempenho térmico .....	41
Tabela 8.1: Dimensões verticais do modelo.....	47
Tabela 8.2: Localização e dados utilizados pelo programa.....	52
Tabela 8.3: Densidade de ocupação obtida por inspeção visual .....	54
Tabela 8.4: Agenda do ano típico da UnB .....	56
Tabela 8.5: Tipologias construtivas dos fechamentos transparentes.....	58
Tabela 8.6: Tipologias construtivas dos fechamentos opacos.....	59
Tabela 8.7: Estimativa média da energia de iluminação da edificação.....	63
Tabela 9.1.1: Simulação do SG 11 durante a semana típica de verão.....	68
Tabela 9.1.2: Simulação do SG 11 durante o verão .....	69
Tabela 9.1.3: Simulação do pavimento superior durante o verão .....	70
Tabela 9.1.4: Simulação do pavimento térreo durante o verão .....	71
Tabela 9.1.5: Simulação das principais zonas durante o dia típico de verão .....	74
Tabela 9.2.1: Simulação das principais zonas durante o dia típico utilizado de verão .....	76
Tabela 9.2.5.1: Simulação das principais zonas durante o dia típico utilizado de verão para a estratégia 5.....	92
Tabela 9.2.5.2: Tabela resumo da edificação segundo as estratégias utilizadas durante o dia típico de verão utilizado .....	95
Tabela 9.3.1: Simulação do SG 11 para a semana típica de inverno .....	96
Tabela 9.3.2: Simulação do SG 11 para o inverno .....	97
Tabela 9.3.3: Simulação do pavimento térreo do SG 11 para o dia típico de inverno.....	97
Tabela 9.3.4: Simulação do pavimento superior do SG 11 para o dia típico de inverno .....	98
Tabela 9.3.5: Simulação das diferentes zonas para o dia típico de inverno .....	99

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

°C	Graus Celsius
ABRAVA/IAF	Associação Brasileira de Resfriamento, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento / Instituto de Abrigo ao Frio.
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CT	Capacidade térmica
EPBD	<i>Energy Performance Building Directive</i>
F <sub>s</sub>	Fator Solar
LARA	Laboratório de Automação e Robótica
NZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
ppm	Parte por milhão
PRC	Prefeitura do Campus da UnB
R <sub>se</sub>	Resistência Superficial Externa
R <sub>si</sub>	Resistência Superficial Interna
R <sub>t</sub>	Resistência térmica
SG 9, 10 e 11	Galpões de Serviços Gerais
T <sub>a</sub>	Temperatura do ar
T <sub>e</sub>	Temperatura externa do bulbo seco
T <sub>o</sub>	Temperatura operativa
T <sub>r</sub>	Temperatura radiante
TRY	<i>Test Reference Year</i>
U	Transmitância térmica

UE	União Europeia
UMR	Umidade Relativa do Ar
UnB	Universidade de Brasília

### **Símbolos Gregos**

$\alpha$	Coeficiente de absorvidade dos materiais
$\varepsilon$	Emissividade da superfície
$\lambda$	Condutividade térmica
$\rho$	Coeficiente de refletividade dos materiais
$\tau$	Transmissividade

## RESUMO

Ao longo da última década, o conceito de sustentabilidade vem ganhando cada vez mais destaque. Sustentabilidade é um conceito que permeia aspectos econômicos, sociais e ambientais. Dentre os aspectos ambientais, uma questão muito preocupante é o aquecimento global. O Brasil, após diversos países, lançou a norma ABNT NBR 15575:2013 que faz com que o conceito de desempenho térmico em edificações deixe de ser uma questão meramente acadêmica e ganhe representatividade maior e obrigatória. O SG 11 é o objeto de estudo deste projeto final, tendo sido escolhido devido ao interesse de se verificar a existência de deficiências quanto ao desempenho energético dessa edificação. O SG 11 é o bloco dos laboratórios de engenharia elétrica, o qual abriga diversos laboratórios, tanto de graduação como pós-graduação, e salas de aula. Apesar de ter sido projetado por um célebre arquiteto quanto à questão bioclimática, apresenta problemas decorrentes das novas formas de ocupação que o edifício abrigou nas últimas décadas. Objetiva-se analisar o SG 11 para encontrar soluções possíveis de melhoria do desempenho térmico da edificação. O projeto final foi realizado com a seguinte estrutura: inicialmente, foi realizada uma rápida discussão sobre a motivação do trabalho e os objetivos do mesmo; em seguida, é realizada a revisão bibliográfica sobre o tema, englobando a eficiência energética de edificações, as variáveis arquitetônicas e as variáveis climáticas; logo após, o estudo do projeto arquitetônico do prédio e seu breve histórico é apresentado; posteriormente, é realizada a apresentação dos dispositivos normativos utilizados neste trabalho. Finalmente, tem-se uma discussão sobre o software utilizado, modelagem da edificação no software, apresentação e análise de resultados e conclusão. A primeira parte é uma introdução ao tema, por meio da discussão sobre a motivação do trabalho, abordando temas como sustentabilidade e aquecimento global. A seguir, apresentam-se os objetivos deste trabalho. Logo após, são apresentados diversos conceitos acerca de eficiência energética, variáveis climáticas e arquitetônicas, os quais são pré-requisitos para se analisar uma edificação energeticamente. Em seguida, é feita a caracterização do SG 11, contendo a sua descrição de acordo com: orientação, forma e materiais constituintes. Com isso, apresenta-se uma breve discussão acerca dos dispositivos normativos e do *software DesignBuilder*, que são utilizados para o estudo e análise do desempenho térmico da edificação. Mais à frente, é apresentada a metodologia usada para atingir tais objetivos, a qual é realizada a partir da simulação computacional e modelagem da edificação com suas características no *DesignBuilder*, fazendo alterações e analisando os benefícios que estas trazem. Com isso, discute-se a maneira como a edificação foi modelada no software, seguida da análise e discussão acerca dos resultados obtidos. Assim, sugestões de modificação de projeto são apresentadas e analisadas visando à economia e o conforto térmico do usuário. Por último, conclui-se o trabalho comentando os principais resultados obtidos.

**Palavras chave:** Eficiência energética em edificações. Conforto térmico do usuário. Análise de alternativas construtivas.

## 1. INTRODUÇÃO

Após diversas instituições renomadas fazerem projeções alarmantes acerca do futuro deste planeta, um dos temas mais discutidos nas últimas décadas é a sustentabilidade. A Organização das Nações Unidas (ONU) vem trabalhando juntamente aos países à ela vinculados no que tange à redução da emissão dos gases estufa, os quais são grandes responsáveis pelo aquecimento global. A eficiência energética, que é a realização de certa atividade com baixo custo energético, está diretamente ligada à racionalização e economia de recursos, que é uma das diretrizes da sustentabilidade.

O lançamento da norma ABNT NBR 15575:2013, que trata do desempenho térmico de edificações habitacionais, mostra a crescente importância do tema deste trabalho no cenário brasileiro. Segundo esta norma, a utilização do programa *EnergyPlus* para a simulação térmica das edificações é recomendada. Neste estudo será utilizado o *DesignBuilder*, o qual é uma interface gráfica amigável e utiliza o sistema de simulação do *EnergyPlus*.

O SG 11, que é uma das edificações encontradas na Universidade de Brasília (UnB), foi construído na década de 1960. Segundo o PAD (2004), a construção civil tinha como princípio a utilização pesada de componentes pré-fabricados, devido ao estímulo à industrialização da construção, visando suprir o déficit habitacional brasileiro, o qual era a preocupação central da época.

O arquiteto responsável pelo projeto deste edifício foi João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé. Nestes mais de cinquenta anos passados após a construção da edificação, diversos materiais e sistemas construtivos inovadores foram lançados. Sob essa perspectiva, é de grande interesse o estudo desta edificação quanto aos conceitos de eficiência energética e conforto térmico ao usuário. Além disso, é importante ressaltar outra questão motivadora que é a necessidade de reforma da edificação, devido à necessidade de ampliação de espaços.

De acordo com Silva (2006, p. 32), “a reunião de Estocolmo em 1972 foi o divisor de águas para as questões pertinentes às intervenções humanas na natureza”. O interesse único em crescimento econômico acelerado se modificou, de maneira que o conceito de crescimento sustentável tomou seu lugar.

Segundo Maciel (2013), o conceito de sustentabilidade vem ganhando cada vez mais destaque na indústria da construção civil, envolvendo a racionalização e economia de produtos. É importante ressaltar que este conceito abrange aspectos econômicos, ambientais e sociais. Alguns dos fatores que afetam os aspectos econômicos e sociais são os novos materiais disponíveis na indústria, que muitas vezes são mais eficientes quanto ao aspecto de velocidade construtiva, mas deixam a desejar no quesito conforto térmico do usuário.

Segundo Goldemberg (1998 *apud* SILVA, 2006), a maior parte dos problemas ambientais é decorrente da geração de energia elétrica. Importa citar que, ao mencionar energia elétrica, não se deve entendê-la no seu sentido bruto, e sim como qualquer transformação de trabalho em energia que beneficie o homem.

Segundo Torgal (2013), o aquecimento global tem sido um dos problemas mais graves discutidos atualmente acerca da situação do nosso planeta. A origem deste problema é o aumento da concentração dos gases estufa na atmosfera, gerado principalmente pela queima de combustíveis fósseis para a geração de energia. Tendo isto em vista, diversos países, principalmente a União Europeia, criaram metas para a redução destes gases e investimentos em eficiência energética e fontes renováveis de energia.

De acordo com Vijayavenkataraman, Iniyan e Goic (2012 *apud* TORGAL, 2013), pode-se constatar que nos últimos 650 mil anos, a concentração de 300 parte por milhão (ppm) nunca havia sido excedida, até que encontrou-se uma concentração de 450 ppm neste século, conforme indicado na figura 1.1.

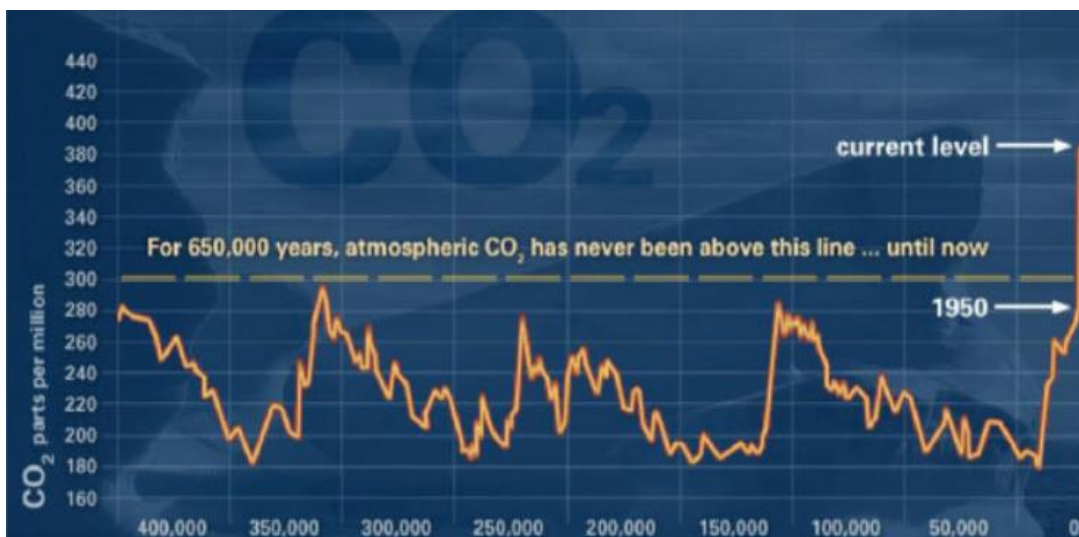


Figura 1.1: Evolução da emissão de carbono ao longo dos últimos 650 mil anos

Fonte: (VIJAYAVEKATARAMA, INYAN E GOIC 2012 *apud* TORGAL, 2013)

Os efeitos do crescimento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera e consequente aquecimento global, mantidas as taxas atuais, são a subida do nível do mar devido à dilatação térmica, a subida da concentração para 731 ppm e o aumento da temperatura em 3,7 graus Celsius, segundo Valero, Agudelo e Valero (2011 *apud* TORGAL, 2013). É importante salientar que essas taxas tendem a aumentar juntamente com o crescimento econômico.

Constaza *et al.* (1997 *apud* TORGAL, 2013) consideram que é possível se ter uma pequena noção dos custos advindos da ação humana destrutiva em relação ao meio ambiente. Os serviços advindos da natureza gratuitamente contabilizam aproximadamente 33 bilhões de dólares/ano há uma década, enquanto o valor do Produto Interno Bruto (PIB) mundial no mesmo período era de 18 bilhões de dólares/ano. Este valor representa metade do valor dos serviços e produtos fornecidos pela natureza, e assim pode-se notar claramente a importância e o valor de se manter a natureza em condições desejáveis.

De acordo com Dimitrov (2010 *apud* TORGAL, 2013), em 2009 os países participantes da Cimeira de Copenhague reconheceram que o aumento da temperatura global não deveria exceder 2 graus Celsius, apesar de haver controvérsias quanto a este valor. Apesar disso, não foram estabelecidas metas vinculativas e significativas quanto à redução da emissão de carbono, havendo apenas metas individuais.

Segundo Pike (2011 *apud* TORGAL, 2013), o mercado mundial de eficiência energética em edifícios representa 68 bilhões de dólares e há uma expectativa de crescimento para 100 bilhões em 2017.

De acordo com Letchtenbohmer (2011 *apud* TORGAL, 2013) a Europa apresenta uma economia fortemente baseada em energias não renováveis, consumo de energia e alto valor de importações de recursos per capita.

Devido a essa situação, a União Europeia adotou uma estratégia com sete iniciativas emblemáticas, basicamente envolvendo o aumento da eficiência energética, combate às alterações climáticas, redução de emissões de gases estufa, investimento em energia renovável, atingindo um valor de aproximadamente 1 trilhão de euros entre 2010 e 2020, de acordo com Torgal (2013).

De acordo com Torgal (2013), a diretiva sobre desempenho energético, *Energy Performance Building Directive* (EPBD), foi revisada e aprovada em 2010, lançando novos conceitos como o de edifícios de consumo energético quase nulo, *Nearly Zero Energy Building* (NZEB). Destaca também algumas falhas dessa diretiva, principalmente quanto à desconsideração da energia incorporada e à limitação das metas relativas atingirem apenas novos empreendimentos, e não edifícios já existentes.



## **2. OBJETIVOS**

### Objetivo Geral:

O objetivo geral deste trabalho é contribuir com o conhecimento sobre alternativas construtivas mais eficientes em termos de consumo energético e do conforto térmico de seus usuários.

### Objetivos Específicos:

- 1) Analisar e avaliar o desempenho térmico e o consumo energético do SG 11 através da modelagem e simulação para propor alterações de melhorias conforme as metas estabelecidas pela norma ABNT NBR 15575:2013.
- 2) Analisar a eficiência energética de propostas em edificações semelhantes ao SG 11.
- 3) Sugerir soluções energeticamente mais eficientes, em relação à situação atual, já considerando as possíveis alterações, considerando a posição e a orientação das zonas definidas para avaliação da edificação.
- 4) Apresentar proposta de alteração da edificação em determinada área do SG 11, a partir da posição e orientação das zonas avaliadas, de modo que seja viável economicamente e sob os aspectos de engenharia.

### **3. REVISÃO TEÓRICA**

Tem início aqui uma breve referência bibliográfica sobre o tema. Inicialmente, será discutido o tema eficiência energética, e em seguida as demais variáveis que influenciam o desempenho energético de um edifício, as quais são variáveis arquitetônicas e climáticas.

#### **3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**

Os principais motivos para mudar o atual modelo energético são ambientais, econômicos, estratégicos, éticos e sociais. A transformação climática, influenciada pelo aumento de concentração de dióxido de carbono na atmosfera, levou ao aparecimento e destaque de um novo conceito, a eficiência energética, de acordo com Rodrigues (2011).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) entende-se como eficiência energética a realização de um serviço com baixo gasto energético. Aplicando este conceito a edificações, pode-se dizer que uma edificação é mais eficiente energeticamente que outra quando proporciona as mesmas condições com menor consumo de energia.

Segundo Maciel (2013), a energia elétrica consumida no Brasil por construções residenciais, representa 26,3% de todo o consumo. Já os setores comerciais e públicos atingem uma taxa de 17,7% e 9,2%, respectivamente. A distribuição deste consumo nas edificações varia dependendo do seu tipo.

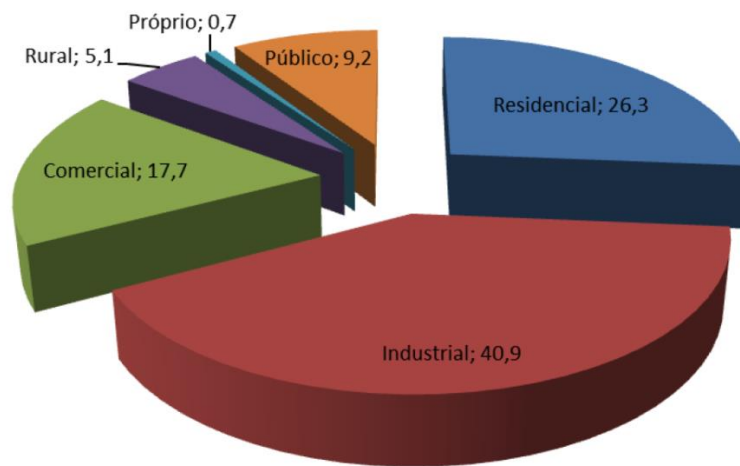


Figura 3.1.1: Consumo de energia elétrica no Brasil em 2012

Fonte: (EPE, 2013)

Segundo Goldemberg (2007), o Brasil possui uma posição confortável comparativamente ao resto do mundo, devido à hidroeletricidade, gás etanol e baixo consumo energético. Apesar disso, sabe-se que o consumo e a produção de energia são ambientalmente impactantes.

Goldemberg (2007) afirma ainda que o Brasil pode reduzir o consumo de energia, de maneira eficiente e ambientalmente correta, tanto utilizando conceitos de eficiência energética como criando políticas incentivadoras para a produção de energia por meio de fontes renováveis.

Segundo Rodrigues (2011) a eficiência energética é um tema complexo, pois depende de diversas variáveis, como:

- Característica externa do edifício;
- Características de construção;
- Características dos equipamentos da habitação;
- Energias renováveis; e
- Ventilação.

É importante ressaltar que a atuação conjunta e integrada dos diversos profissionais que atuam na área é primordial para se atingir o melhor resultado possível. Com isso, é necessário que o arquiteto, engenheiro mecânico, eletricitista, civil e os especialistas tenham um bom relacionamento, visando realizar um projeto com melhor desempenho energético, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 3.2 VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS

Desde o início de sua existência, o ser humano escolhe determinados locais para se abrigar. Atualmente, há diversas ferramentas, estudos e conceitos que podem ser aplicados a fim de reduzir os problemas da relação entre homem e meio ambiente. O estudo das variáveis arquitetônicas, tais como a forma, função, tipos de fechamento e sistemas de condicionamento se faz necessário, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Ainda segundo os autores acima citados, a forma arquitetônica interfere diretamente no fluxo de ar no interior e exterior da edificação, além da quantidade de fluxo de calor e luz recebidos, e por isso esta variável tem grande influência no conforto ambiental e consumo energético da edificação.

Segundo Mascaró (1997 *apud* LIMA, 2006), a orientação do edifício influi sensivelmente na quantidade de calor por ele recebida. Além disso, o uso adequado em função da radiação solar contribui para a redução do consumo energético e aumento do conforto do usuário.

A volumetria é um fator de grande influência no ganho térmico da edificação. Esse efeito é quantificado pela intensidade de energia, que é função do ângulo de incidência solar. Ou seja, um mesmo volume de espaço com diferentes geometrias (formas) pode apresentar comportamentos térmicos globais diferentes, dependendo do local em que a edificação será implantada, de acordo com Dias (2011).



Figura 3.2.1: Formas diferentes para o mesmo volume

Fonte: (LAMBERTS; DUTRA E PEREIRA, 2014)

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a fim de definir o comportamento térmico e a qualidade da iluminação natural da edificação, além da forma, do volume e da orientação, os fechamentos devem ser considerados. Devido a esse grande número de condições a se considerar, pode-se notar claramente a complexidade das soluções para o problema, o que demonstra mais uma vez a importância da simulação computacional de edificações.

Além da forma, outra variável importante da edificação é a sua função. Apesar de haver controvérsias, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que a alternativa mais certa é considerar a forma e a função de maneira equivalente e com o mesmo nível de importância desde o começo do projeto.

A função arquitetônica está relacionada com a finalidade prática e com as atividades a que se destinam determinada edificação. Essa edificação pode ser pública, comercial ou residencial. Obviamente, o horário de funcionamento de um prédio comercial é diferente de um residencial, e por consequência o consumo energético também, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) é importante ressaltar que é função do profissional alertar ao consumidor sobre as necessidades da utilização de estratégias energéticas para se obter um produto mais condizente com o interesse do próprio consumidor. O conceito eficiência energética não significa a utilização apenas de fontes naturais para suprir as necessidades prediais, e sim aliar soluções artificiais juntamente visando conseguir o melhor resultado com o menor consumo possível.

Tabela 3.2.1: Resumo das variáveis arquitetônicas

<b>Variáveis arquitetônicas</b>	<b>Tipos</b>
<b>Escala</b>	Imediata, construtiva, arquitetônica e urbana
<b>Forma</b>	Fator de forma, área, Relação S/V
<b>Função</b>	Comercial, pública e residencial
<b>Fechamentos</b>	Transparentes e opacos

Fonte: (LAMBERTS; DUTRA E PEREIRA, 2014)

### 3.3 DESEMPENHO TÉRMICO

De acordo com Schiffer (1996 *apud* LIMA, 2006), os elementos de uma edificação, quando expostos aos raios solares diretos ou difusos, ambos com radiação de alta temperatura, podem ser classificados em opacos e transparentes. A figura 3.1.1 ilustra as principais diferenças quanto à resposta a radiação solar entre estes dois tipos de fechamentos.

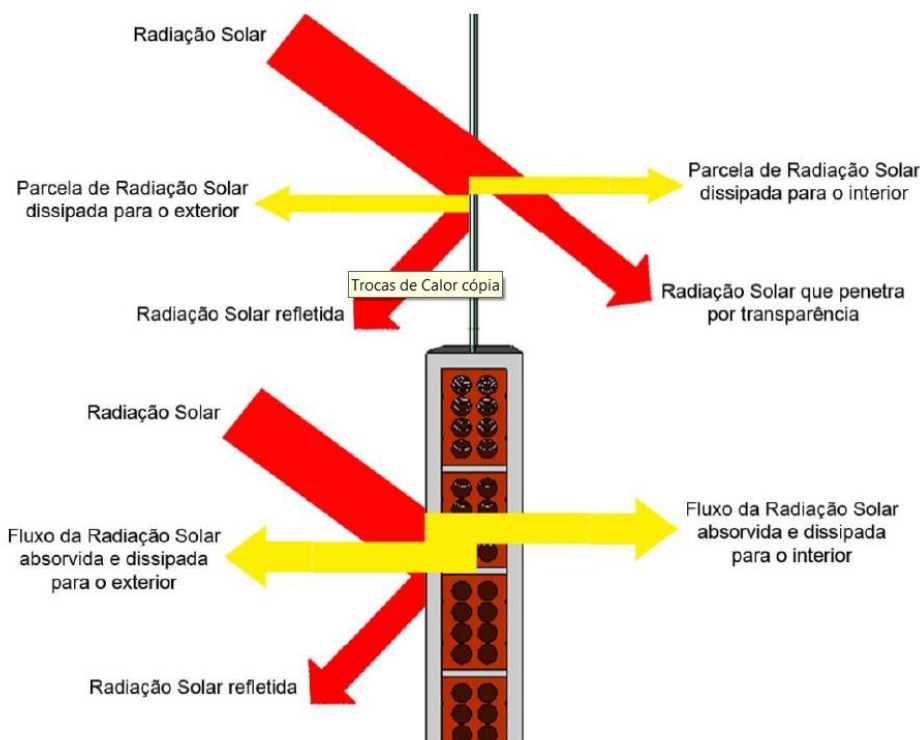


Figura 3.3.1: Transmissões de radiação em fechamentos

Fonte: (FROTA E SCHIFFER *apud* MACIEL, 2013)

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a transmissão de calor em um fechamento opaco ocorre quando há uma diferença de temperatura entre o meio externo e interno, onde o sentido da mesma é sempre do meio mais quente para o meio mais frio. Este fenômeno é dividido em três fases, conforme mostrado na figura 3.3.2.



Figura 3.3.2: As três fases da transmissão de calor em fechamentos opacos

Fonte: (LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA, 2014)

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a primeira fase consiste na troca de calor com o meio exterior, em que o envelope recebe calor por meio de convecção e radiação, aumentando sua temperatura, em função da sua Resistência da superfície externa ( $R_{se}$ ). A parcela que atinge o fechamento apresenta uma parcela absorvida ( $\alpha$ ) e uma parcela refletida ( $\rho$ ), sendo principal determinante a cor. A soma destas parcelas deve contabilizar uma unidade.

A segunda fase é dada por condução por meio do fechamento. É natural perceber que após o fechamento externo ser atingido pela radiação solar, este aumenta de temperatura. Apesar disto, a temperatura da superfície interna não aumenta na mesma proporção, devido a perdas, apresentando uma diferença de temperatura, a qual provoca uma troca de calor entre ambas, que acontece por condução, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Segundo Kruger (2001 *apud* ADREASI e SILVA, 2004), a condutividade térmica ( $\lambda$ ) fornece o fluxo de calor transmitido por intermédio de uma área unitária do material, sob um gradiente de temperatura. A condutividade térmica é uma propriedade do material que é função de sua densidade e traduz a capacidade de conduzir calor. Outra variável importante nesta fase é a espessura do fechamento ( $L$ ). A partir de  $\lambda$  e  $L$ , é possível obter a resistência térmica do material ( $R_t$ ), dada por meio da divisão da espessura pela condutividade térmica.

As trocas por radiação dependem somente da emissividade ( $\epsilon$ ) da superfície. A emissividade é uma propriedade do material que diz qual a quantidade de energia térmica

emitida por unidade de tempo. Essa propriedade pertence à camada superficial do material emissor. Os materiais metálicos, por exemplo, possuem menor emissividade, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Tabela 3.3.1: Emissividades de alguns

Material	$\epsilon$
<b>Alumínio Polido</b>	0,05
<b>Ferro Galvanizado</b>	0,20
<b>Demais materiais de construção</b>	0,90

Fonte: (Adaptado de: LAMBERTS; DUTRA E PEREIRA, 2014)

O processo que ocorre na terceira fase é muito semelhante ao da fase um, dado pela troca de calor com o meio interior, as quais ocorrem por convecção e radiação. As perdas de calor por convecção são função da Resistência superficial interna do fechamento ( $R_{si}$ ) e as perdas por radiação da emissividade superficial do material, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Os autores acima citados apresentam o importante conceito de transmitância térmica ( $U$ ), que permite a avaliação do fechamento pela transmissão de calor. A transmitância térmica é o inverso da Resistência térmica ( $R_t$ ), sendo que  $U$  engloba as três fases de transmissão de calor supracitadas. A figura a 3.3.3 ilustra a relação entre os parâmetros anteriormente citados.

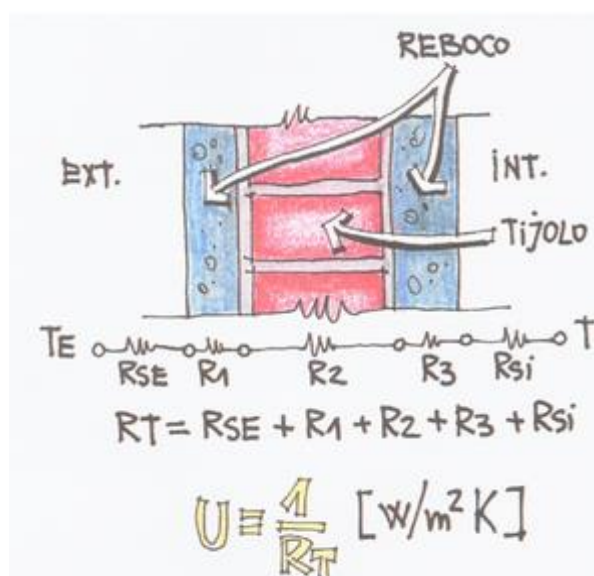


Figura 3.3.3: Transmitâncias térmica

Fonte: (LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA, 2014)



Segundo Lopes (2010), outro conceito importante é a inércia térmica, uma característica observada em materiais densos e pesados, pois trata da capacidade que um material tem de reter determinada energia por certo tempo. Essa característica é muito importante nos casos em que se deseja um amortecimento ou o atraso térmico.

Os fechamentos transparentes típicos são janelas e claraboias e neles se dão as principais trocas térmicas. Os três tipos de trocas básicas são por condução, convecção e radiação, em que as duas primeiras ocorrem de maneira equivalente ao de fechamentos opacos, sendo a única diferença é que há a possibilidade de controle por meio da abertura, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Segundo Castro (*apud* LIMA, 2006), a transferência térmica que ocorre no vidro é diferente da de fechamentos opacos, porque grande parte da radiação solar que atinge a superfície do vidro é transmitida diretamente para o ambiente interno, causando muitas vezes aquecimento excessivo.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), as principais variáveis que alteram a quantidade de calor são a orientação, o tamanho da abertura, o tipo de vidro, e as proteções solares internas e externas. A primeira parcela é responsável por determinar a exposição solar da edificação, considerando tanto a temperatura quanto a luz.

O vidro é um material que tem características próprias, como alta U, sendo assim possível a escolha de certo tipo de vidro para controlar a radiação solar. Os vidros podem admitir ou bloquear luz natural e calor solar, por meio de películas ou materiais especiais, bem como permitir ou bloquear perdas de calor do interior e ainda permitir ou não o contato visual entre o meio interior e exterior, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) é importante a escolha cuidadosa do tipo de vidro a ser utilizado, apesar destes não serem os únicos que permitem o controle racional da radiação solar. A seguir, a figura 3.4.4 demonstra como a radiação solar atinge um fechamento transparente típico.

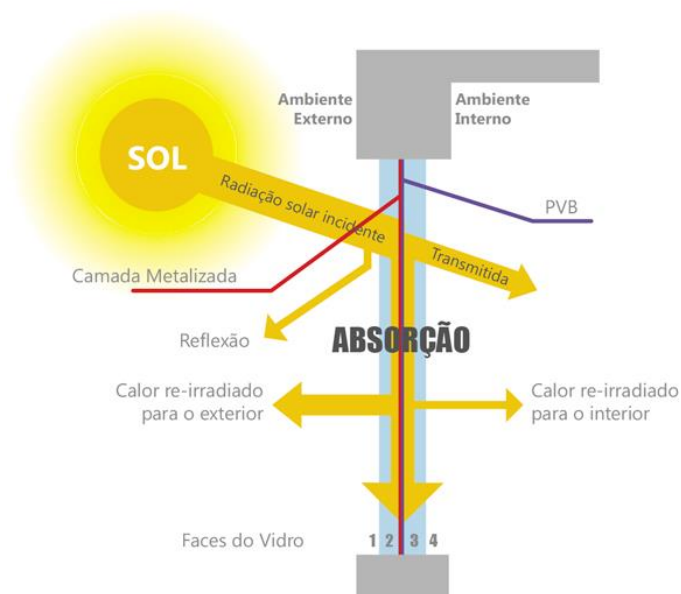


Figura 3.3.4: Comportamentos do vidro ao receber Radiação solar

Fonte: Sítio anavidro

Há vidros dos mais diferentes tipos, com diversas características que podem ser interessantes, variando os parâmetros refletividade ( $\rho$ ), absorvidade ( $\alpha$ ), transmissividade ( $\tau$ ) e fator solar (FS). É importante saber também que espectro solar apresenta duas regiões distintas que afetam o comportamento do fechamento, a região de onda curta e de onda longa, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Há uma ampla diversidade de vidros disponíveis no mercado. A ABNT NBR 11706/92, fixa as condições exigíveis dos principais tipos de vidros planos utilizados na construção civil, e faz o estudo dos seguintes vidros:

- Reozidos estirados, incolores ou coloridos;
- Reozidos “float”, incolores ou coloridos;
- Reozidos impressos, incolores ou coloridos;
- De segurança temperados;
- De segurança laminados
- Foscos;
- Termoabsorventes; e
- Termorreletores.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), na construção civil, também são utilizadas proteções solares visando reduzir os ganhos térmicos. As principais proteções internas são as cortinas e persianas, que são bastante flexíveis do ponto de vista operacional, apesar de não

reduzirem o efeito estufa. A principal opção de proteção externa pode ser mais adequada, sendo o tipo mais usado o *light shelf*. A proteção externa bloqueia a radiação direta e evita o efeito estufa, além de uniformizar a distribuição de luz natural nos interiores. Porém, deve-se ressaltar que interferem na fachada arquitetônica.



Figura 3.3.5: Exemplo de Light shelf

Fonte: Sítio lighthome

O fator solar (FS) é a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo total incidente na mesma. Ou seja, é a quantidade de calor que penetra em um ambiente em relação à quantidade potencial. Esse valor varia em função do tipo de abertura e a o ângulo de incidência, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 3.4 VENTILAÇÃO

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) os sistemas artificiais, tanto de aquecimento quanto de resfriamento, devem ser estratégias de projeto consideradas desde o início da concepção do projeto da edificação. Se a necessidade da adoção de um sistema de resfriamento for encontrada apenas após a construção física da edificação, a quantidade de opções viáveis é reduzida.

É importante saber que nem sempre é possível tirar partido apenas das soluções naturais. O condicionamento do ar é responsável não só pela eficiência do homem no trabalho, mas também pelo seu conforto, principalmente nas épocas mais quentes do ano, de acordo com Camargo (2004).

Segundo Lopes (2010), a exploração da ventilação natural é desejável, fazendo uso da pressão e depressão causada no vento devido à superfície exterior do edifício. No caso de pressão, o efeito de tiragem é utilizado. Esse efeito pode ser facilmente entendido, desde que se saiba que o vento quente é mais leve que o vento frio. Sendo assim, este ar quente sobe e sai pelas aberturas. Quando há duas aberturas em diferentes alturas, esse efeito é denominado efeito chaminé.

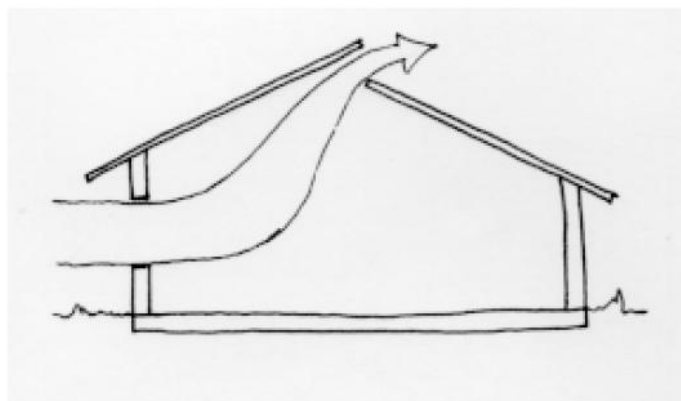


Figura 3.4.1: Efeito Chaminé

Fonte: (LOPES, 2010)

Segundo Lopes (2010), o efeito de depressão ocorre quando uma das faces da edificação está submetida a uma alta pressão enquanto a outra sofre uma depressão. Essa diferença de pressão nas duas faces opostas faz com que o vento corra naturalmente e por isso pode ser explorado de maneira mais fácil.

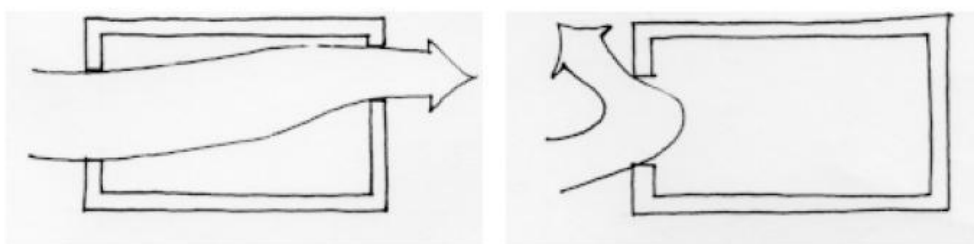


Figura 3.4.2: Ventilação cruzada (à esquerda) e ventilação unilateral (à direita)

Fonte: (LOPES, 2010)

É importante compreender a diferença entre ventilação e infiltração. De acordo com Villani (2000), a ventilação é um aspecto importante, pois consiste na retirada de ar contaminado por móveis ou pela própria estrutura. Entretanto, o ar externo deve ser de boa qualidade. A infiltração é uma condição indesejável ao ar-condicionado, pois este ar não tem as qualidades desejáveis.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a ventilação mecânica é composta basicamente por sistemas exaustores e ventiladores. Este sistema tem como principais vantagens a economia de energia, baixo custo, facilidade de instalação e refrescar o ar sem alterar sua temperatura.

A exaustão é desejável em ambientes em que há possibilidade de contaminação do ar, tais como banheiros, cozinhas e laboratórios. O seu funcionamento é bem simples, criando um campo de pressão negativa que suga o ar do ambiente interior e o arremessa para o exterior. A ventilação mecânica pode ser realizada tanto por ventiladores fixos, quanto móveis, acelerando o vento na direção definida pelo usuário, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Segundo Villani (2000), as principais funções de um ar condicionado são resfriar, aquecer, umidificar, desumidificar, purificar e distribuir o ar para os usuários de maneira a garantir condições de conforto e saúde. Esse dispositivo é amplamente utilizado no setor comercial e público. Apesar disso, este tema não será abordado com profundidade no presente estudo.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), apesar de exigir grande quantidade de energia, o ar condicionado é necessário para algumas edificações e deve ser inserido no projeto desde o seu início, para evitar desagradáveis mudanças posteriores. Lopes (2010) apresenta a classificação dos aparelhos de ar condicionado, a qual é dividida em dois grandes: os sistemas independentes e os sistemas dependentes.

### 3.5 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Segundo Akutsu e Lopes (1988 *apud* ANDREASI E SILVA, 2004), o desempenho térmico de uma edificação é função de três parâmetros: condições climáticas, de implantação e de uso da edificação. Nesta seção, será dado enfoque às condições climáticas e suas variáveis.

Nas últimas décadas, é possível notar a tendência arquitetônica de se utilizar o estilo internacional, que é aquele em que os edifícios são envidraçados, sem considerar o local em que o mesmo será implantado. Esse conceito quando aplicado a regiões de clima quente, como é o caso do Brasil, leva a altos gastos energéticos. Após a crise energética de 1970, foi necessário repensar esse conceito, em que a eficiência energética de edifícios ganhou bastante ênfase, de acordo com Goulart, Lamberts e Firmino (1998).



Figura 3.5.1: Edifício Seagram, projetado pelo arquiteto Ludwig Mies van der Rohe aplicando o estilo internacional, construído entre 1954 e 1958.

Fonte: Sítio wikiarquitectura.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o profissional que deseja atender tanto ao programa de necessidades do cliente quanto ao quesito da eficiência energética, deve estar atento às condições climáticas do local em que o projeto será realizado. Afirma ainda que o bom arquiteto é aquele que atende às condições de conforto do usuário e eficiência energética.

O conhecimento das condições climáticas externas da edificação são requisitos básicos quando se deseja projetar edifícios. Apesar disso, os dados climáticos quando disponíveis, são apresentados de maneira não direcionada para a solução de problemas de eficiência energética de edifícios. Sendo assim, anseia-se por juntar esses diferentes dados climáticos em nível de projeto, por meio de metodologias e tratamentos estatísticos específicos, segundo Goulart, Lamberts e Firmino (1998). Este último trabalho citado do autor nos permite simular as edificações.

Segundo Barry (2012), estudioso do sistema climático, o clima envolve não apenas os elementos atmosféricos, mas também os seguintes cinco subsistemas:

- Atmosfera (muito instável);
- Oceano;
- Neve;
- Cobertura de gelo (criosfera); e
- Superfície terrestre, com sua cobertura vegetal.

Sendo assim, nota-se a complexidade do tema. É importante ressaltar que não se deseja que o profissional envolvido tenha um conhecimento profundo desse tema, mas sim que ele o compreenda suficientemente para realizar projetos considerando o desempenho energético dos edifícios.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o arquiteto deve ter um conhecimento básico sobre o comportamento das regiões climáticas ao longo do ano em que se está projetando, de maneira que obtenha dados suficientes para identificar aqueles períodos em que há a maior probabilidade de desconforto, onde sua intervenção tem caráter muito importante.

É importante diferenciar alguns conceitos relevantes nesta etapa. O clima pode ser considerado uma condição média de determinada região, enquanto o tempo é definido como a variação diária das condições atmosféricas, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014). Sendo assim, nota-se que os dados climáticos são mais complexos devido ao maior número de variáveis envolvidas no projeto.

As principais variáveis envolvidas no estudo das variações climáticas são a proximidade com a água, altitude, correntes oceânicas e barreiras montanhosas. É importante notar também que os fatores climáticos atuam de maneira intrínseca na natureza. Visando facilitar a análise

climática, os climas são separados por escalas, em macroclima, mesoclima e microclima, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014) o macroclima descreve as características gerais de uma região, de acordo com o índice de precipitação, ventos, umidade, temperatura e nuvens. Essas variáveis são geralmente quantificadas em estações meteorológicas. Apesar de no Brasil os dados mais acessados serem as normais climatológicas, aqui nos interessa o ano de referência climático, TRY (*Test Reference Year*), por ser mais representativo e permitir simulações do consumo de energia.

De acordo com Goulart, Lamberts e Firmino (1998), as fontes de dados utilizadas no seu projeto foram fitas magnéticas cedidas pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento/Instituto do Frio (ABRAVA/IDF) e o Centro técnico aeroespacial - instituto de aeronáutica e espaço, as quais contêm dados climáticos obtidos nos aeroportos das cidades brasileiras entre o período de 1950 e 1970. Alguns destes dados são o vento, tempo, altura, nuvens, temperatura, pressão, de acordo com sua identificação. Devido à qualidade destes dados, serão usados neste projeto.

As principais variáveis do macroclima são a radiação solar, temperatura, vento e umidade, com destaque para a primeira. A radiação solar é a principal fonte de energia do planeta, sendo fonte de calor e luz. O aproveitamento da energia advinda do sol é muito importante tanto para satisfazer os critérios desempenho térmico como para o desempenho visual dos usuários. Pode ser classificada como direta, quando se está num ambiente de céu claro, e difusa, quando se está num ambiente anisotrópico, ou seja, nublado (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

A temperatura é uma das variáveis mais conhecidas e de fácil medição, sendo possível adquirir dados de temperatura máxima, mínima e média diária. A temperatura é basicamente uma tradução do que está ocorrendo com as massas de ar. Apesar disso, ela é função tanto da umidade quanto do vento (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

O mesoclima é a escala que fica entre o macroclima e microclima, tendo como principal influência a vegetação, topografia e a distribuição do solo. O microclima é aquele que pode ser alterado pelo arquiteto, sendo parte dele também a residência. Ambos os conceitos são afetados pela radiação solar, temperatura, umidade e vento, sendo importante o profissional



tirar o maior proveito possível destas variáveis, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

O trabalho de Goulart, Lamberts e Firmino (1998) utiliza uma metodologia de tratamento de dados para cada uma das cidades, obtendo dados para o projeto e análise térmica. Sendo os principais:

- Temperatura de projeto;
- Temperatura BIN; e
- TRY (*Test Reference Year*).

Além disso, caracteriza o clima a partir de descrições estatísticas, por meio de médias anuais, mensais, mínima e máxima temperatura, ventos e umidade relativa.

Conforme previamente citado, o SG 11 está situado em Brasília, que apresenta a classificação por Koppen de clima tropical quente com estação de inverno seca, a qual é uma das cidades em que o trabalho foi desenvolvido por Goulart, Lamberts e Firmino (1998). Os dados climáticos de Brasília utilizados por ele foram:

- Latitude: 15° 52´;
- Longitude 48° 55´;
- Altitude: 1060 m;
- Período: 1961 a 1970; e
- Número sintótico da estação meteorológica: 83378.

A seguir, será apresentada a figura 3.5.2, contendo carta bioclimática brasileira, onde as principais zonas são subdivididas.

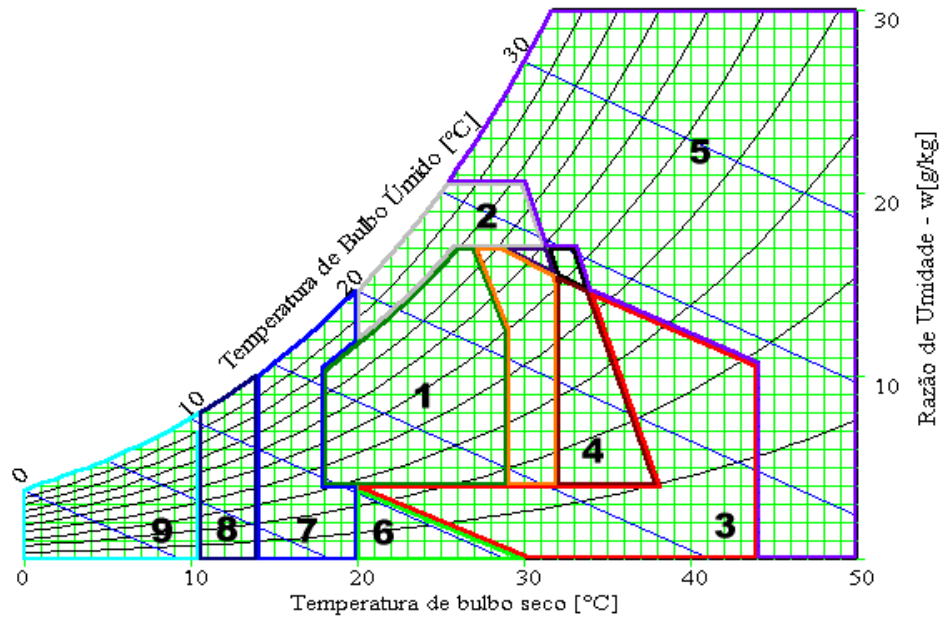


Figura 3.5.2: Carta Bioclimática adotada para o Brasil

Fonte: (GOULART; LAMBERTS E FIRMINO , 1998)

- 1- Zona de Conforto
- 2- Zona de Ventilação
- 3- Zona de Resfriamento Evaporativo
- 4- Zona de Massa Térmica para Resfriamento
- 5- Zona de Ar Condicionado
- 6- Zona de Umidificação
- 7- Zona de Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo
- 8- Zona de Aquecimento Solar Passivo
- 9- Zona de Aquecimento Artificial

A partir desta carta bioclimática brasileira, foi realizado o estudo também da carta bioclimática brasiliense, utilizando-se um período do ano climático de referência (TRY), o qual contém 8760 horas, e o resultado é mostrado a seguir, na figura 3.5.3, a qual tem a mesma legenda da figura 3.5.2.

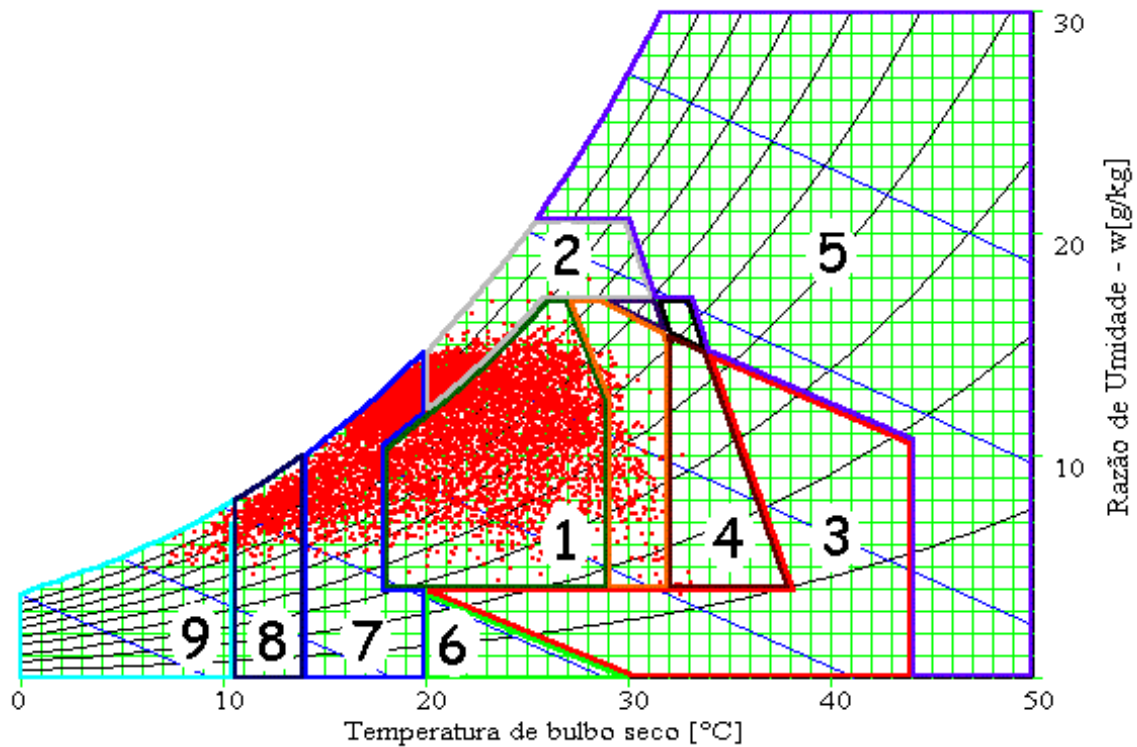


Figura 3.5.3: Carta Bioclimática de Brasília

Fonte: (GOULART; LAMBERTS E FIRMINO, 1998)

Segundo Goulart, Lamberts e Firmino (1998), ao analisar a carta bioclimática de Brasília, nota-se uma grande concentração de pontos na região de conforto térmico, que se traduz em aproximadamente 44% das horas do ano. Além disso, a sensação mais problemática nas partes desconfortáveis é o frio, que representa 41,1% das horas. Sendo assim, as estratégias possivelmente adotadas estão descritas na tabela 3.5.2, sendo as abreviações:

- V → Ventilação;
- RE → Resfriamento Evaporativo;
- MR → Massa Térmica para Resfriamento;
- AC → Ar Condicionado;
- MA/AS → Massa Térmica para Aquecimento / Aquecimento Solar;
- AS → Aquecimento Solar; e
- AA → Aquecimento Artificial.

Tabela 3.5.1: Estratégia Bioclimática (em%)

Conforto		43,6
Desconforto	V	15,1
	<b>Calor</b>	
	RE	2,5
	MR	2,5
	AC	0
	MA/AS	33,9
	<b>Frio</b>	
	AS	6,1
	AA	0,9

Fonte: (GOULART; LAMBERTS E FIRMINO, 1998)

Outra metodologia utilizada por Goulart, Lamberts e Firmino (1998) foi a Temperatura BIN. A Temperatura BIN se baseia no TRY, fornecendo dados anuais e mensais que são divididos em intervalos de 6 horas e dois graus Celsius, tendo início à uma hora da manhã. É importante ressaltar que os meses de junho e julho foram escolhidos por apresentarem as condições mais críticas ao longo do ano. A seguir, são apresentadas a Temperatura BIN anual e a Temperatura BIN mensal, nas tabelas 3.5.2 e 3.5.3, respectivamente.

Tabela 3.5.2: Temperatura BIN para Brasília anual

TBS (°C)	Hora 1 - 6	Hora 7- 12	Hora 13-18	Hora 19 - 24
<b>5,0 a 7,0</b>	5	1	-	-
<b>8,0 a 10,0</b>	84	31	-	-
<b>11,0 a 13,0</b>	354	120	-	32
<b>14,0 a 16,0</b>	382	169	2	239
<b>17,0 a 19,0</b>	1227	512	49	783
<b>20,0 a 22,0</b>	137	604	444	904
<b>23,0 a 25,0</b>	1	520	792	202
<b>26,0 a 28,0</b>	-	211	713	30
<b>29,0 a 31,0</b>	-	22	183	-
<b>32,0 a 34,0</b>	-	-	7	-

Fonte: (GOULART; LAMBERTS E FIRMINO, 1998)

Ao analisar a tabela 3.5.2, de temperatura BIN para Brasília anual, nota-se que durante o primeiro quarto de dia, a temperatura fica majoritariamente entre 17 e 19 graus Celsius. Já durante o segundo quarto do dia, há uma variação entre 17 e 25 graus Celsius na maior parte do tempo. Durante o terceiro quarto do dia, varia entre 20 e 28 graus Celsius, e no último quarto prevalece entre 17 e 22 graus Celsius.

Tabela 3.5.3: Temperatura BIN para Brasília no mês de junho

TBS (°C)	Hora 1 - 6	Hora 7 - 12	Hora 13 - 18	Hora 19 - 24
<b>5,0 a 7,0</b>	2	-	-	-
<b>8,0 a 10,0</b>	22	9	-	-
<b>11,0 a 13,0</b>	<b>112</b>	<b>36</b>	-	16
<b>14,0 a 16,0</b>	43	<b>38</b>	1	<b>75</b>
<b>17,0 a 19,0</b>	1	<b>37</b>	7	<b>64</b>
<b>20,0 a 22,0</b>	-	<b>44</b>	50	24
<b>23,0 a 25,0</b>	-	15	<b>96</b>	1
<b>26,0 a 28,0</b>	-	1	26	-

Fonte: (GOULART; LAMBERTS E FIRMINO, 1998)

Ao analisar as tabelas 3.5.3 e 3.5.4, de Temperaturas BIN para Brasília mensal, nota-se que durante o primeiro quarto de dia, a temperatura fica entre 11 e 13 graus Celsius. Já durante o segundo quarto do dia, há uma variação entre 11 e 22 graus Celsius na maior parte do tempo. Durante o terceiro quarto do dia, varia entre 23 e 25 graus Celsius principalmente, e no último quarto prevalece entre 14 e 19 graus Celsius.

Tabela 3.5.4: Temperatura BIN para Brasília no mês de julho

TBS (°C)	Hora 1 - 6	Hora 7 - 12	Hora 13 - 18	Hora 19 - 24
<b>5,0 a 7,0</b>	3	1	-	-
<b>8,0 a 10,0</b>	44	16	-	-
<b>11,0 a 13,0</b>	<b>109</b>	<b>38</b>	-	11
<b>14,0 a 16,0</b>	30	<b>27</b>	-	<b>77</b>
<b>17,0 a 19,0</b>	-	<b>32</b>	-	<b>69</b>
<b>20,0 a 22,0</b>	-	<b>46</b>	32	28
<b>23,0 a 25,0</b>	-	26	<b>130</b>	1
<b>26,0 a 28,0</b>	-	-	24	-

Fonte: (GOULART; LAMBERTS E FIRMINO, 1998)

A partir da comparação entre as tabela 3.5.3 e 3.5.4, podemos notar que realmente os meses de junho e julho apresentam temperaturas bem abaixo da média anual, principalmente durante entre as 19 e 06 horas.

Os dados aqui apresentados serão utilizados na próxima etapa, em que as análises energéticas da edificação serão realizadas com o software *Designbuilder*. Além disso, serão definidos dispositivos normativos que permitem a análise do conforto térmico do usuário, os quais serão referência durante o estudo e análise do prédio.

#### **4. HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO SG 11**

Segundo Nunes (2007), a UnB é a mais antiga entidade de ensino superior público da cidade. Foi inaugurada no dia 21 de Abril de 1962, tendo como principais promessas reinventar a educação superior, entrelaçar as diversas formas do saber e formar profissionais engajados na transformação do país.

A criação da UnB foi baseada em um Plano Orientador, elaborado por Lucio Costa e os riscos da cidade universitária de Oscar Niemeyer, com foco na autonomia da instituição. Uma área entre a Asa Norte e o Lago Paranoá foi delimitada para a Universidade. Tinha apenas 13 mil metros quadrados construídos, tamanho 35 vezes menor que a área construída em 2007, segundo Nunes (2007).

Segundo Schlee (2010), os Galpões de Serviços Gerais (SG 9, SG 11 e SG 12) foram projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé, em 1962. O SG 11 e SG 12 foram construídos no período de 1964-1965, e passaram por uma adaptação funcional em 1968. A função inicial destes galpões era abrigar o maior número de atividades possíveis.

Segundo o Departamento de Engenharia Elétrica (ENE), este foi fundado em 1967 e passou a integrar o projeto da Universidade. O ENE funcionou inicialmente no SG 11, com apenas cinco professores e algumas dezenas de estudantes. Desde então, o departamento tem passado por uma expansão sólida e consistente, com a implantação de novos cursos e programas de mestrado e doutorado.

O SG 11, atual rede do Laboratório de Engenharia Elétrica da UnB, está localizado no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, na UnB Área 1, próximo ao bloco de oficinas especiais do Instituto de Artes. Na figura 4.1 pode-se visualizar a localização da edificação.

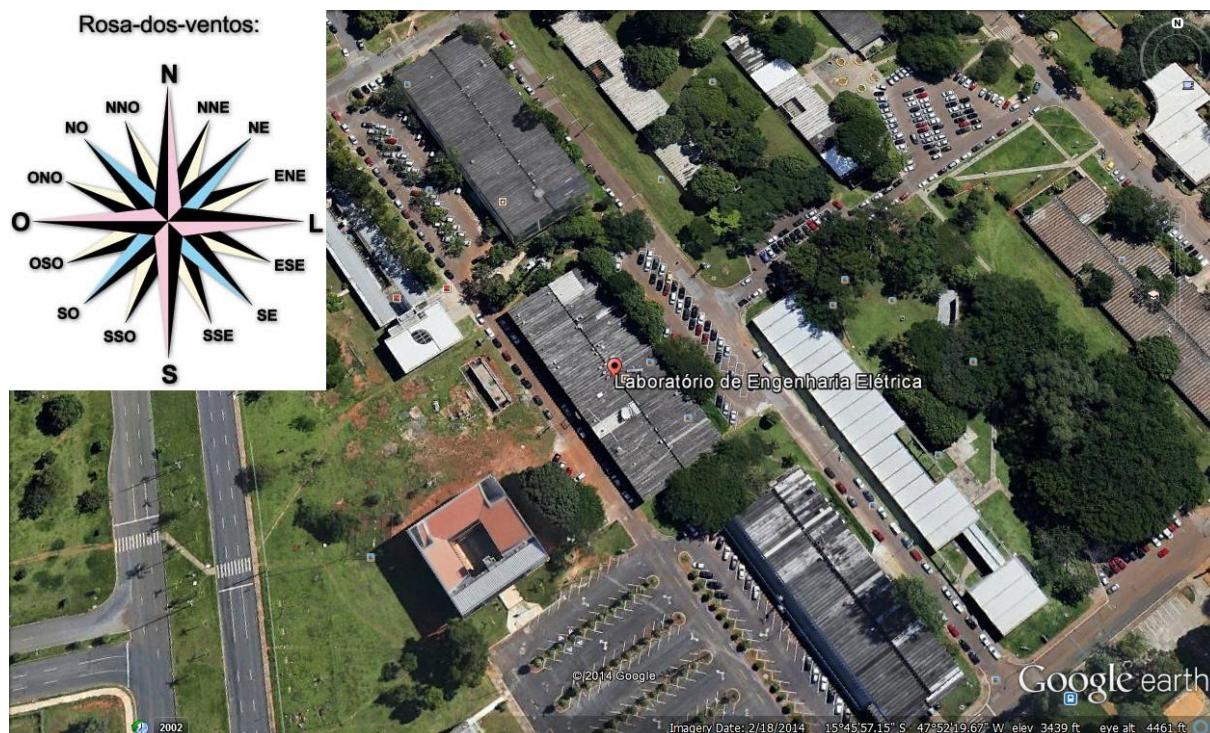


Figura 4.1: Implantação do SG 11

Fonte: *Google Earth*

O SG 11 é o objeto de estudo deste projeto final e o principal elemento motivador dessa escolha é a constante queixa dos usuários quanto ao desconforto da edificação. Além disso, a similaridade da edificação com o SG 12, o qual já foi objeto de estudo do mesmo tema, mostra que há soluções possíveis para melhorar o desempenho energético do prédio.

De acordo com Schlee (2010), o arquiteto imaginou uma grande estrutura pré-fabricada, simultaneamente livre de divisórias internas e muito flexível. O sistema estrutural proposto considerou uma malha de pilares de concreto, espaçados longitudinalmente de 8 metros no sentido longitudinal, e afastado 11, 4 e 11 metros no sentido transversal.

Schlee (2010) também afirma que sobre os pilares periféricos foram apoiadas vigas de 8 metros, e sobre os pilares centrais duplos, vigas-calha, de 4x8 metros. Finalmente, este conjunto passa a sustentar a cada metro as vigas da cobertura de 15 metros intercaladas pelas chapas de alumínio. O resultado é um edifício muito simples para o que se propõe. As figuras 4.2 e 4.3 ilustram estes elementos.





Figura 4.2: Fachadas sudeste e sudoeste do SG 11.

Fonte: Elaborado pelo autor

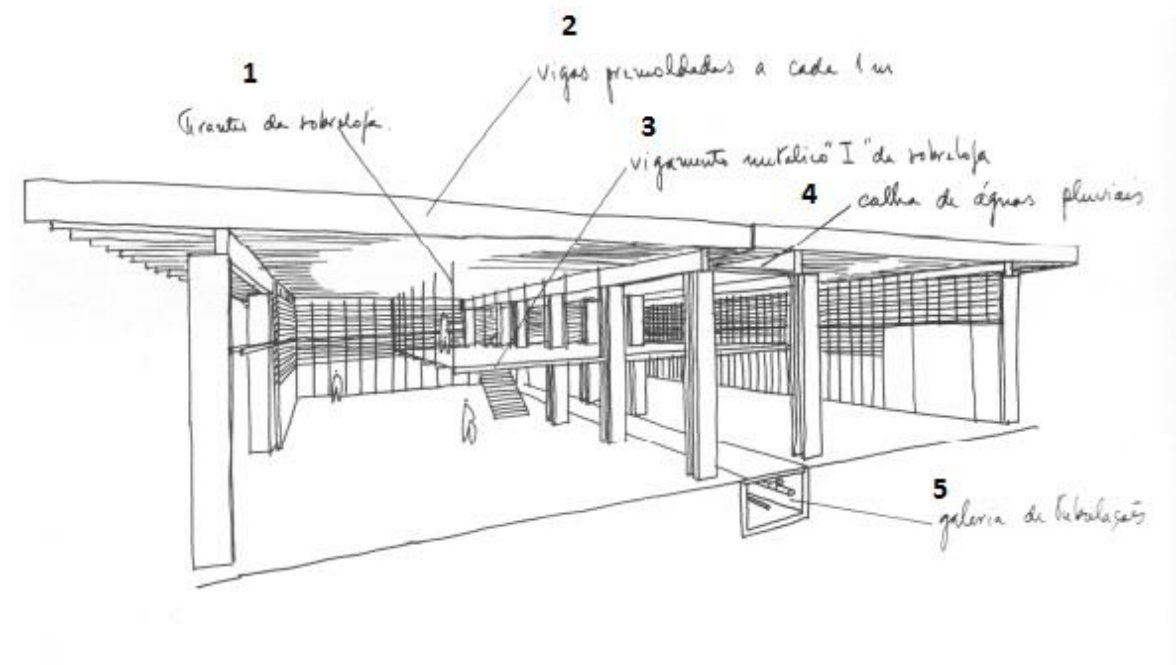


Figura 4.3: Desenho a próprio punho do arquiteto João Filgueiras, o Lelé.

Fonte: (XAVIER E FISBERG, 1970)



O SG 11 é uma edificação de dois pavimentos, que apresenta uma área construída total de 3747, 87 m². O pavimento térreo e o pavimento superior apresentam dimensões de 72 metros de comprimento por 26 metros de largura. A figura 4.4 apresenta a planta baixa do pavimento térreo, a qual foi fornecida pela prefeitura do campus da UnB.



11.



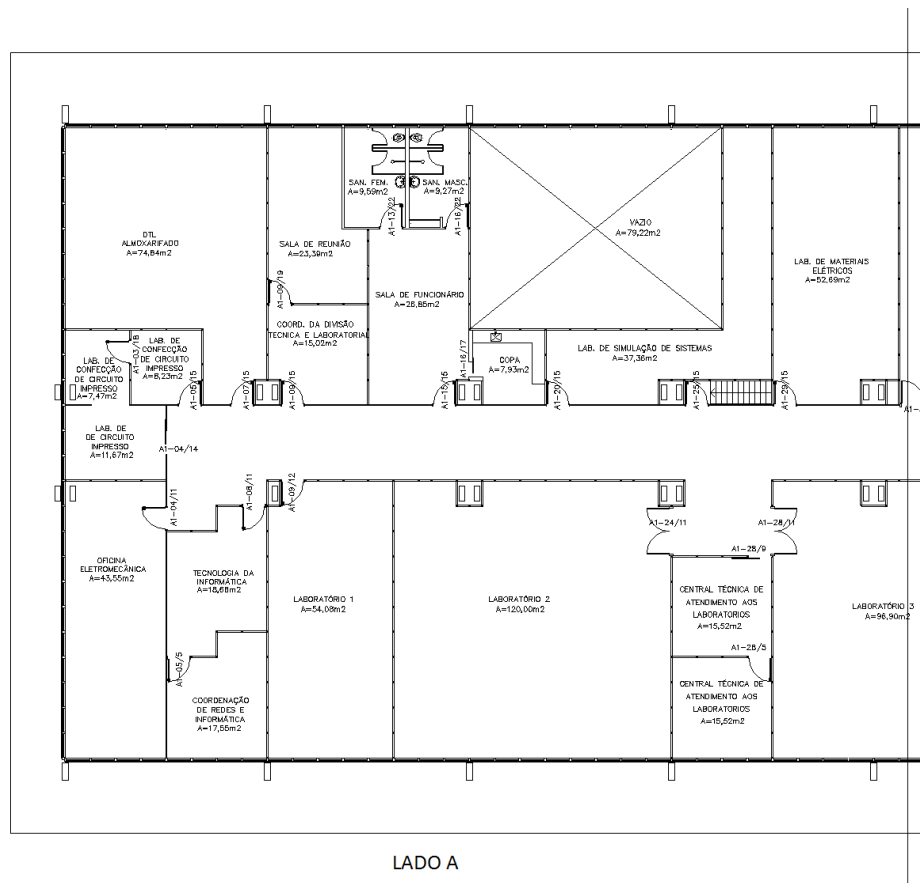


Figura 4.7: Planta baixa do pavimento superior do SG 11, lado A

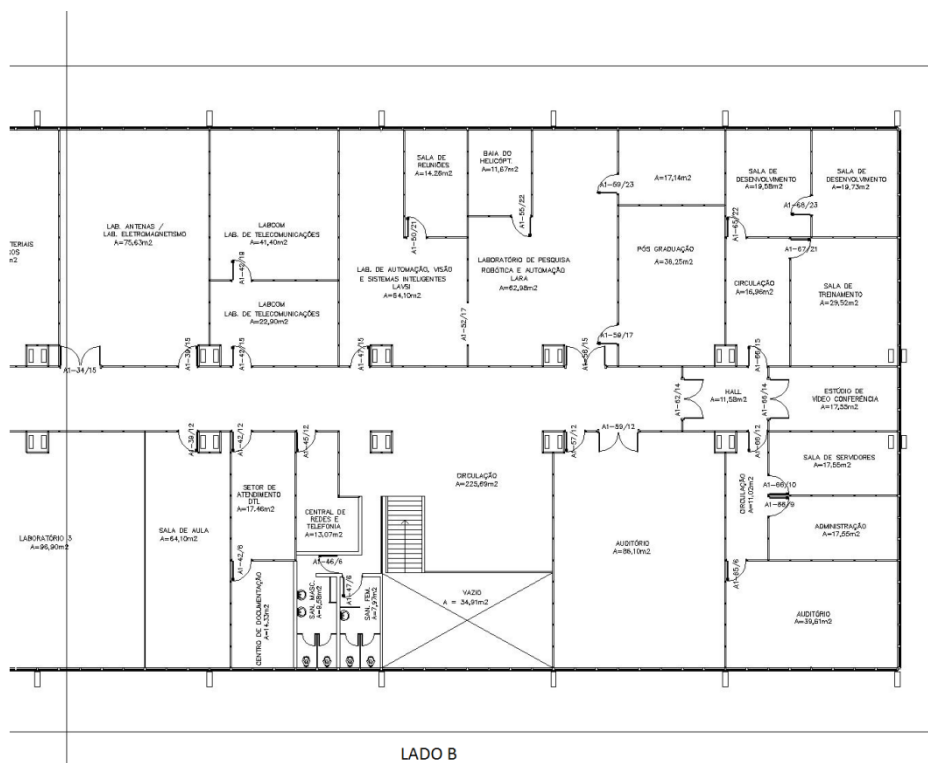


Figura 4.8: Planta baixa do pavimento superior do SG 11, lado B

A estrutura do SG 11 é mista, apresentando elementos construtivos em concreto armado e aço. O sistema de vedação externa é composto por placas de concreto de 6,2 centímetros de espessura e 2,10 metros de altura, pintadas de cor branca, para o pavimento térreo. Estas placas de concreto estão separadas por meio de pequenas estruturas de concreto, de 4 centímetros de espessura e 12 centímetros de profundidade, os quais se estendem do piso à cobertura. As figuras 4.9 e 4.10 apresentam alguns dos elementos construtivos encontrados na edificação.



Figura 4.9: Vista dos dois pavimentos da edificação, com a indicação de alguns elementos construtivos

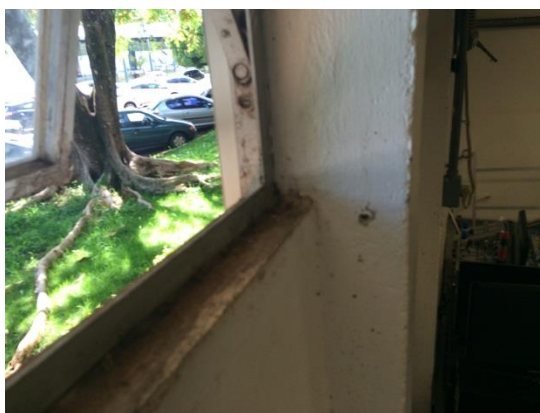


Figura 4.10: Vista interna do detalhe da junção entre as placas de concreto do revestimento externo e as pequenas estruturas de concreto.

A partir das figuras 4.11 e 4.12, relativas ao pavimento térreo da edificação, é possível a familiarização do leitor com a edificação em questão, sendo apresentada a sua vista interna e externa. Observa-se que a estrutura tem como elemento de fechamento transparente as janelas altas. Quanto ao resfriamento, observa-se também a existência de aparelhos de ar-condicionado.



Figura 4.11: Vista interna do pavimento térreo do SG 11



Figura 4.12: Vista externa do sistema de travamento do revestimento externo opaco presente no pavimento térreo

O piso do pavimento térreo é composto de placas de granito, enquanto o forro é composto por várias placas de concreto pré-moldadas de 4x8 metros, pintadas de branco. A iluminação artificial da estrutura é composta por luminárias com um par de lâmpadas fluorescentes de 32 Watts, e em geral se encontram na interseção das placas de concreto. A área interna da

edificação é separada por meio de divisórias compostas de um par de placas de fibrocimento, separados por uma cavidade, com espessura total de 6 centímetros em ambos pavimentos.

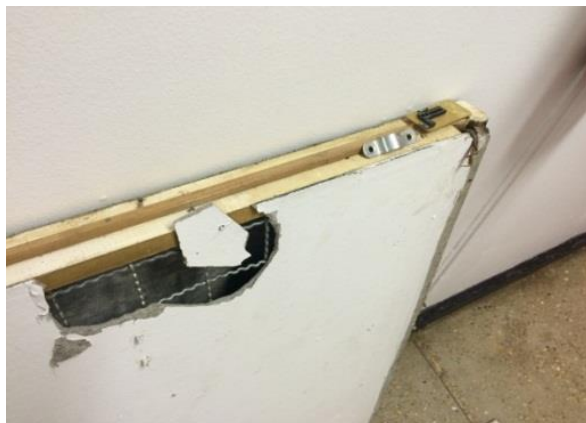


Figura 4.13: Detalhe da divisória interna encontrada no SG 11



Figura 4.14: Detalhe da laje que separa os dois pavimentos

O pavimento superior é muito similar ao pavimento térreo, tendo como diferença a inexistência destas placas de concreto no fechamento opaco. No lugar destas placas de concreto, encontra-se o mesmo tipo de vidro encontrado ao longo de toda a edificação, que é um vidro simples incolor de 3 milímetros de espessura. Ou seja, o pavimento superior é praticamente todo envidraçado, apresentando uma relação de fechamento opaco-transparente de 90%. As fachadas noroeste, sudoeste, e nordeste são as mais afetadas pela radiação solar.

Conforme destacado anteriormente, a função arquitetônica é relacionada com as atividades que são desempenhadas em uma edificação e interage com a eficiência energética e a forma (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). O SG 11 abriga atualmente os



laboratórios de engenharia elétrica, sendo de significativa importância a iluminação, ventilação e sensação térmica dos usuários da edificação.

A cobertura da edificação é composta por marquise em concreto armado, e esta avança 2,8 metros no sentido da fachada principal da edificação, e 1,85 metros no sentido perpendicular à fachada principal. Outro fato interessante é a vegetação presente em frente à fachada principal da edificação, a qual contribui para o sombreamento da edificação no período da manhã.



Figura 4.15: Vista da fachada principal da edificação



Figura 4.16: Vista do avanço da cobertura na interseção entre as fachada nordeste e noroeste

A figura 4.17 apresenta a tipologia construtiva da cobertura. O sistema de cobertura encontrado na edificação é composto por diversas camadas, sendo elas aqui enumeradas, da camada mais externa para a mais interna:

1. Capa de concreto brasileiro, com espessura de 2 centímetros;

2. Manta asfáltica, com espessura de 2 milímetros;
3. Chapa de alumínio, com espessura de 3 centímetros;
4. Espaçamento de 25 centímetros;
5. Forro em PVC, com espessura de 1 centímetro.



Figura 4.17: Detalhe da tipologia construtiva do sistema de cobertura



## 5. DISPOSITIVOS NORMATIVOS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO

Este trabalho fez uso das normas ABNT NBR 15575:2013, a qual discorre sobre requisitos e critérios para o atendimento do desempenho de edificações habitacionais, e ABNT NBR 15220:2008, a qual disserta sobre o desempenho térmico de edificações habitacionais. É importante ressaltar que esta edificação em estudo não é habitacional, portanto, esta norma não se aplicaria a esta edificação.

A edificação analisada neste trabalho é caracterizada como institucional. Entretanto, por não haver uma norma brasileira que se aplique a este tipo de edificação, decidiu-se adotar a ABNT NBR 15575:2013 como critério de avaliação do desempenho térmico desta edificação.

O lançamento da norma ABNT NBR 15575:2013 é um marco regulatório, técnico e jurídico, sendo importante o atendimento das incorporadoras a esta norma. Interessa nesse trabalho apenas a parte 1 dessa norma, relacionada aos requisitos gerais, a parte 4, relacionada aos sistemas de vedações verticais internas e externas, e parte 5, relacionada aos sistemas de cobertura.

Os diversos materiais utilizados para a simulação térmica da edificação foram baseados nas características fornecidas pela norma ABNT NBR 15220:2008, tais como condutividade térmica, massa específica, entre outros. Isto se faz necessário devido à limitação da biblioteca de materiais disponibilizada pelo próprio *software*, onde há diversos materiais, mas os mesmo apresentam algumas diferenças em relação aos materiais brasileiros.

Segundo os requisitos gerais da norma ABNT NBR 15575-1:2013, existem critérios e requisitos para o dia típico de verão e para o dia típico de inverno. A edificação aqui estudada, conforme já foi citado, está localizada em Brasília, cidade localizada na Zona Bioclimática 4. A figura 5.1 destaca a zona bioclimática brasileira em que a edificação se encontra.

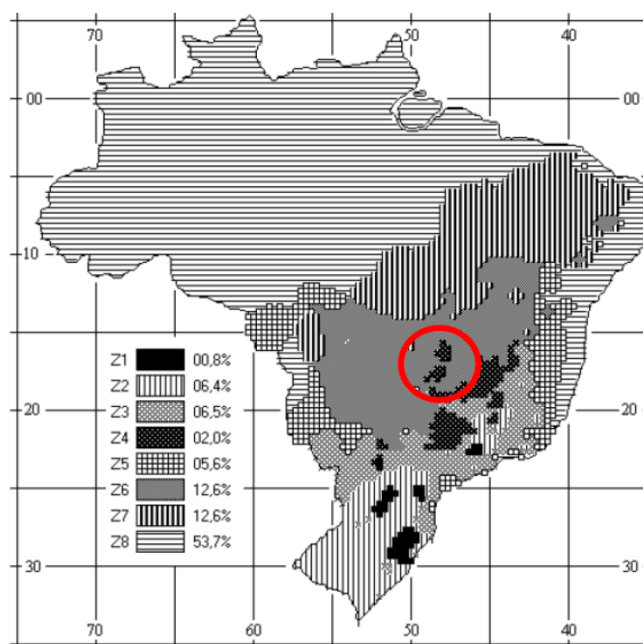


Figura 5.1: Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: (ABNT NBR 15220:2008)

O dia típico de inverno é caracterizado como um dia real que tenha certas características, tais como temperatura, umidade, velocidade do vento para o dia mais frio do ano segundo a média do período da última década. O dia típico de verão é caracterizado igualmente, exceto que se usa o dia mais quente da média da última década. As tabelas A2 e A3 da norma ABNT NBR 15575:2013 são resumidas na tabela 5.1, ilustrada a seguir.

Tabela 5.1: Dias típicos de verão e inverno

Cidade	Dias típicos	Temperatura máxima e mínima diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	Temperatura de bulbo úmido °C	Radiação solar Wh/m <sup>2</sup>	Nebulosidade em décimos
Brasília	Verão	31,2	12,5	20,9	4625	4
Brasília	Inverno	10	12,2	14,8	4246	3

Fonte: (Adaptado de ABNT NBR 15575-1, 2013)

A norma ABNT NBR 15575-1:2013 apresenta requisitos para o desempenho térmico de verão e inverno. Estes requisitos são avaliados por meio de critérios, os quais são avaliados por meio das temperaturas máximas e mínimas nos dias representativos de cada estação. Os quadros 5.1 e 5.2 ilustram tais critérios.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p><math>T_{i,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{e,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Quadro 5.1: Critério para avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Fonte: (ABNT NBR 15575-1, 2013)

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3 \text{ o C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
<p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Quadro 5.2: Critério para avaliação de desempenho térmico do para condições de inverno

Fonte: (ABNT NBR 15575-1, 2013)

Outra questão abordada na ABNT NBR 15575-1:2013 é a ventilação do ambiente e absorvência solar. A norma define que será adotada uma taxa de 1 ren/h para ventilação do ambiente e renovação da cobertura, e define que serão usados os valores de 0,3, 0,5 e 0,7, para as cores claras, médias e escuras, respectivamente.

A próxima seção da norma ABNT NBR 15575:2013 usada da neste trabalho é a 4, que é relacionada ao desempenho térmico sistemas de vedações verticais internas e externas. Sabe-se que duas características muito importantes dos materiais são a Transmitância térmica (U) e a Capacidade térmica (CT). Os quadros 5.3 e 5.4 ilustram os valores limites para estas variáveis.

Transmitância Térmica U		
W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α <sup>a</sup> ≤ 0,6	α <sup>a</sup> > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
<sup>a</sup> α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Quadro 5.3: Transmitância térmica das parede exteriores

Fonte: (ABNT NBR 15575-4, 2013)

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m <sup>2</sup> .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Quadro 5.4: Capacidade térmica das parede exteriores

Fonte: (ABNT NBR 15575-4, 2013)

O último tema de interesse para este projeto situado na norma ABNT NBR 15575:2013 é o desempenho térmico dos sistemas de cobertura, situados na parte 5 deste documento. Segundo esta norma, são estabelecidos valores máximo admissíveis de Transmitância térmica (U), considerando o fluxo térmico descendente, os quais são apresentados no quadro 5.5.

Transmitância térmica (U)				
W/m <sup>2</sup> K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV
<sup>a</sup> α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.				

Quadro 5.5: Critérios para coberturas quanto à Transmitância

Fonte: (ABNT NBR 15575-5, 2013)

Depois de discutidos os principais itens da norma ABNT NBR 15575:2013 que serão utilizados neste trabalho, visando facilitar o conhecimento do leitor acerca dos principais critérios a serem utilizados para a edificação do SG 11, a tabela 5.2 apresenta um resumo dos principais itens a serem verificados neste trabalho.

Tabela 5.2: Resumo dos critérios mínimos de desempenho térmico

<b>Critério</b>	<b>Nível de desempenho térmico</b>	<b>Cálculo</b>	
Valores mínimos de temperatura no inverno	Mínimo	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3^{\circ}\text{C})$	
Valores máximos de temperatura no verão	Mínimo	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$	
Aberturas para ventilação	Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	
Capacidade térmica das paredes externas (kJ/m <sup>2</sup> .K)	Mínimo	$CT \geq 130$	
Transmitância térmica das paredes externas (W/m <sup>2</sup> .K)	Mínimo	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$
		$\alpha \geq 0,6$	$U \leq 2,5$
Transmitância térmica em coberturas (W/m <sup>2</sup> .K)	Mínimo	Função de $\alpha$	$U \leq 2,3$ a $0,5$

Fonte: (Adaptado de: ABNT NBR 15575:2013)

A norma ABNT NBR 15220:2008, que trata do desempenho térmico de edificações, foi utilizada para se obter as principais características dos materiais brasileiros utilizados na construção civil. As características utilizadas foram a massa aparente, calor específico, condutividade térmica e emissividade.

Por sua vez, a norma ABNT NBR 5413:1992 – Iluminância de interiores foi utilizada apenas para se obter a iluminância necessária no ambiente, e a quantidade lúmens emitida pelas luminárias. Ao se classificar o laboratório como local onde são realizadas tarefas com requisitos visuais normais, adota-se uma iluminância requerida de 500 lux. Além disso, para cada luminária com um par de lâmpadas de 32 Watts, considera-se 4700 lúmens.

Segundo Lamberts (2014), a equação de conforto térmico de Fanger engloba uma grande gama de sensações térmicas, para o que foi utilizado no índice PMV ou voto médio estimado, através de análises estatísticas de acordo com resultados obtidos por em estudos na Dinamarca em câmaras climatizadas, onde as pessoas registravam seus votos sobre a escala sétima da ASHRAE, que aponta desde muito frio até muito quente. A sensação real sentida pela pessoa é representada pela “equação do PMV” ou equação do voto médio estimado, que pode assim ser representada:

$$PMV = (0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028) \times L$$

onde:

PMV = voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico;

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo; e

L = Carga Térmica atuante sobre o corpo.

A escala sétima da ASHRAE ou escala de sete pontos, utilizada nos estudos de Fanger e empregada até hoje na determinação real das sensações térmicas das pessoas é assim representada:

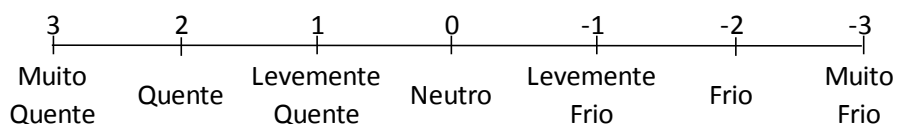


Figura 5.2: Escala sétima da ASHRAE de conforto térmico de Fanger PMV

Segundo a NBR 16401:2008 – Instalação de ar condicionado - parte 2, os usuários são considerados em uma situação de conforto térmico quando o índice de Fanger PMV está entre +0,5 e -0,5. Apesar disso, este índice será usado aqui para obter uma noção acerca do sentimento de desconforto do usuário, e não para fins de atestar a conformidade da edificação em relação à norma.

## 6. UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES

Segundo Amorim (2010), com o advento das tecnologias computacionais e sua rápida evolução, tem sido possível o desenvolvimento de modelos físicos que representam o comportamento térmico e energético de edificações, possibilitando a simulação de diferentes alternativas de projeto e conjugando um número maior de variáveis, o que não seria possível com os meios tradicionais de avaliação.

A análise de eficiência energética de edificações, atualmente, é auxiliada pela utilização de softwares, os quais utilizam o sistema BIM (*Building Information Modeling*), que é a evolução do CAD (*Computer Aided Design*). A principal diferença entre o BIM e o CAD é a elaboração do projeto pelo usuário utilizando objetos, em vez de linhas. O BIM contém propriedades pré-definidas, ou definidas pelo usuário, as quais completam as quantidades de materiais, segundo Alder (*apud* SANTOS, 2010).

Atualmente, existe uma gama enorme de programas para a simulação do desempenho térmico de edifícios que permitem estimar as condições de conforto, seu consumo energético, custo e o impacto das soluções adotadas no conforto ambiental. Entre estes estão listados no *Building Energy Tools Directory*, do Departamento de Energia Americano (DOE, 2006), mais de 300 softwares, destacando-se o *DesignBuilder*, de acordo com Amorim (2010).

Segundo Azevedo (2009), o *DesignBuilder* é uma interface gráfica para o programa de simulação térmica *EnergyPlus*, que permite desenvolver o modelo geométrico tridimensional de um edifício. Além disso, é possível atribuir modelos e características das soluções construtivas, modo de utilização do edifício no que diz respeito à ocupação humana, sistemas de iluminação, equipamentos elétricos e sistemas de Aquecimento, Ventilação, e Ar Condicionamento (AVAC).

Segundo Costa (2013), o *DesignBuilder* é uma interface avançada do *software EnergyPlus*. O responsável pela realização dos cálculos e simulações é o *EnergyPlus*. Esse programa realizador de cálculos foi desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE – *The Department Of Energy*) nos Estados Unidos da América e é de utilização gratuita. É um dos mais utilizados na área, uma vez que é alvo de contínuas atualizações e os resultados são confiáveis. Contudo, a introdução de dados neste programa é algo complexo e trabalhoso. O

*DesignBuilder* surge para resolver esta questão, atuando como interface gráfica do *EnergyPlus*, simplificando a introdução de dados.

Segundo Batista (1999 *apud* LIMA, 2010), o *EnergyPlus* permite a análise das cargas térmicas advindas dos componentes construtivos, permitindo a análise do desempenho térmico de diferentes tipologias construtivas, inclusive aquelas não condicionadas, levando em consideração os aspectos ambientais em que a edificação está inserida.

Neste projeto será utilizada uma versão teste, por não serem fornecidas licenças gratuitas aos estudantes de instituições de ensino. De acordo com Garrido (2013), essa versão gratuita apresenta as seguintes limitações:

- Máximo de 30 dias de utilização;
- Simula um máximo de 50 espaços; e
- Converte apenas um ficheiro climático.

A partir de uma breve discussão sobre os softwares utilizados para a análise de eficiência energética de edifícios, escolheu-se o software *DesignBuilder*, uma vez que o mesmo mostra-se um software muito completo e simples. Além disso, a ABNT NBR 15575:13 faz com que o tema deixe de ter caráter meramente acadêmico, e indica o uso do software *EnergyPlus*, que é base do *DesignBuilder*. Com isso, todas as suas características são de interesse, o que torna o *DesignBuilder* capaz de atender o objetivo proposto, que é realizar análises de desempenho térmico.



## 7. METODOLOGIA

A partir dos objetivos do projeto apresentados na seção 2, é importante realizar um planejamento das atividades a serem realizadas, para atingir as metas propostas. Depois de identificadas as atividades, determinou-se a duração de cada uma delas e quais são críticas. Finalmente, definiu-se um cronograma para atender ao prazo final do semestre. As atividades que foram realizadas são:

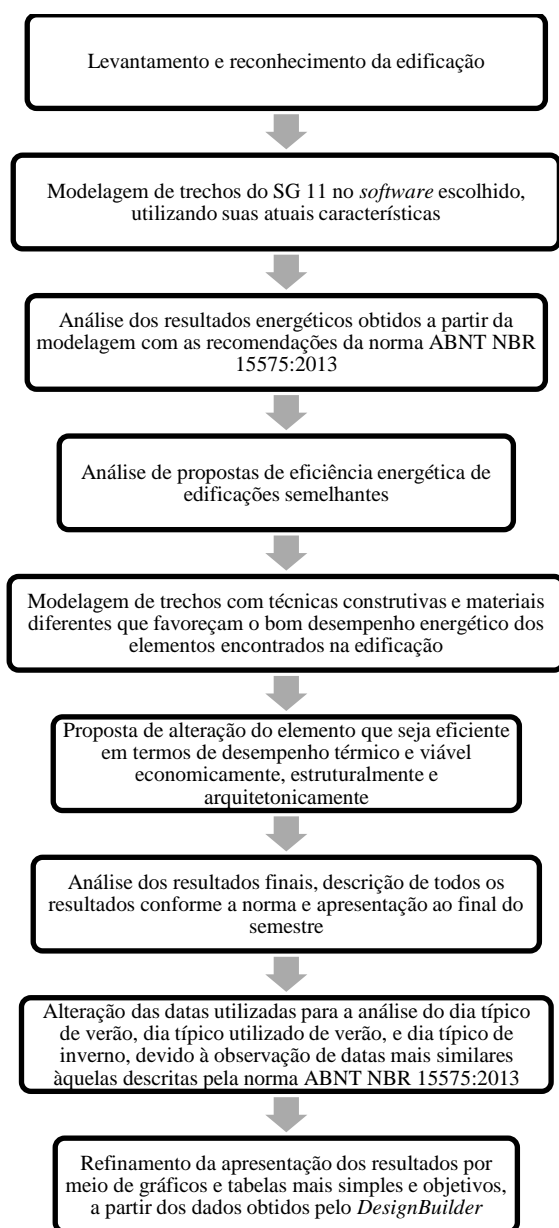


Figura 7.1: Fluxograma de atividades

## **8. MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO NO SOFTWARE**

A modelagem do SG 11 consiste em criar um modelo que represente a edificação com todas suas características atuais no software desejado. Apesar disso, sabe-se que a modelagem exata da edificação é praticamente impossível, devido à indisponibilidade de obtenção de certos dados, e da imprecisão dos mesmos quando obtidos. Sendo assim, deseja-se criar um modelo o mais próximo da realidade, a partir dos dados obtidos e estimados.

Uma das etapas iniciais da modelagem é definir a geometria da edificação. Será usado como base o arquivo da planta baixa da edificação fornecido pela Prefeitura do Campus da UnB (PRC), a qual é datada do ano de 2010. Sabe-se que o prédio passou por pequenas modificações durante estes quase cinco anos. Visando sanar tais diferenças, foram realizadas diversas visitas à edificação.

Ao utilizar o *DesignBuilder*, é necessário entender como o sistema obtém os dados fornecidos pelo usuário para o dimensionamento. A partir do sítio oficial do software, observa-se que há duas maneiras de inserir os dados desejados. Aqui, será utilizado o método de simulação de modelagem geral, definido na figura 8.1.

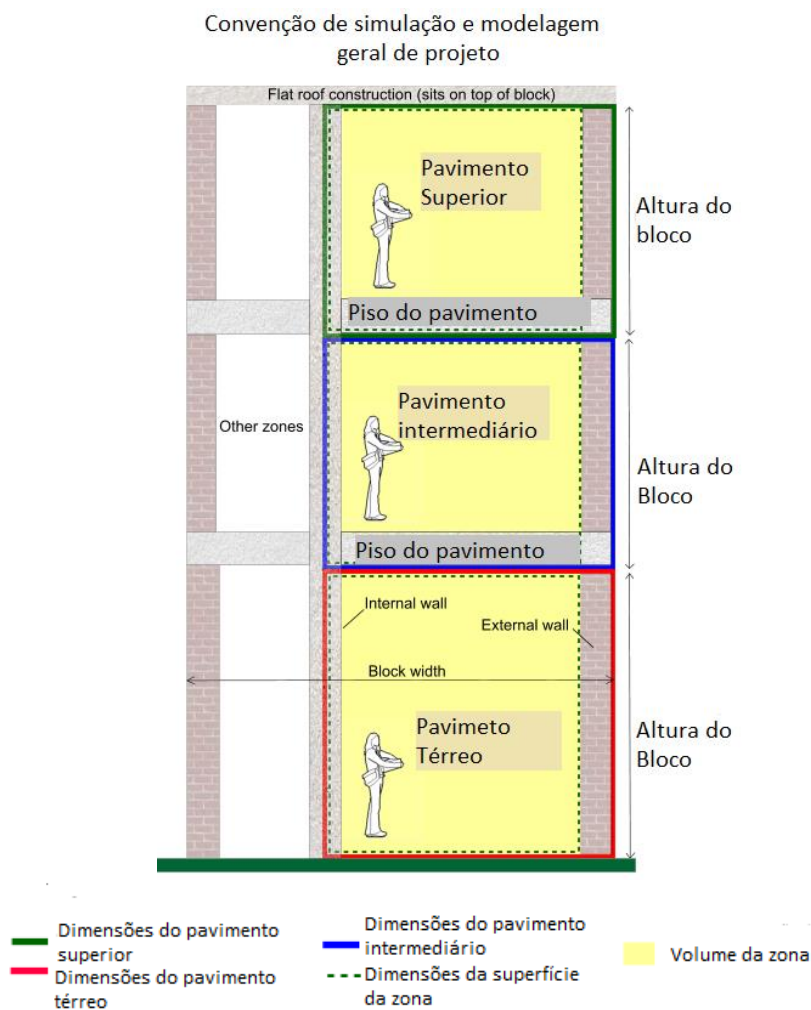


Figura 8.1: Dimensionamento do modelo

Fonte: (<http://www.designbuilder.co.uk>)

O prédio do SG 11 apresenta dois pavimentos. Sendo assim, serão criados dois blocos. Um bloco representa o pavimento térreo, e o outro representa o pavimento superior. A tabela 8.1 apresenta as dimensões verticais dos elementos presentes na figura 8.1.

Tabela 8.1: Dimensões verticais do modelo

Elemento	Tipo de elemento	Dimensão vertical(m)
Pavimento térreo	Bloco <i>Ground Floor</i>	2,77
Pavimento superior	Bloco <i>Top Floor</i>	2,93
Piso do pavimento superior	Construtivo <i>Internal floor</i>	0,13
Piso do pavimento térreo	Construtivo <i>Internal floor</i>	0,13
Laje	Construtivo <i>Flat Roof</i>	0,72
Laje rebaixada	Construtivo <i>Flat Roof</i>	1,52

Fonte: (<http://www.designbuilder.co.uk>)

O primeiro passo da modelagem é criar um novo projeto. Para isto, basta abrir o programa e clicar em “File”, e em seguida em “Create a New Project”.

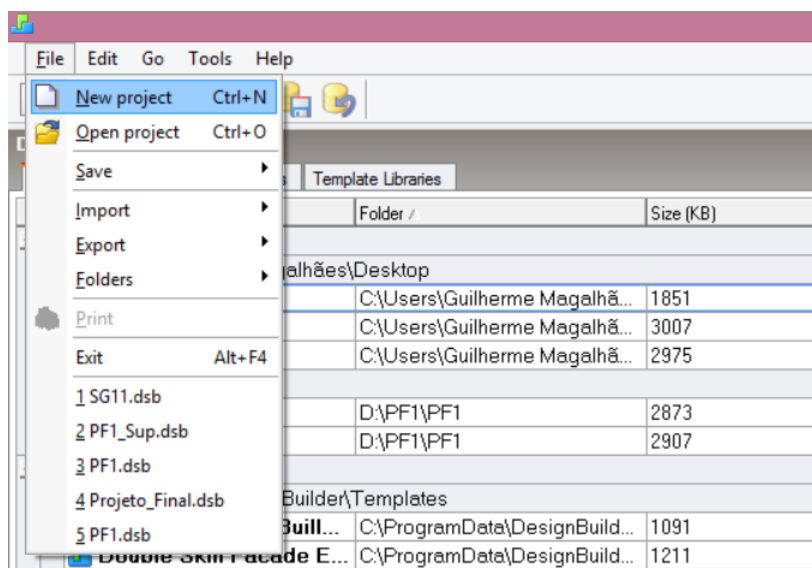


Figura 8.2: Como criar um novo projeto

Fonte: (*DesignBuilder*)

Conforme se observa na figura 8.3, define-se o título pelo comando “Title”, o qual se nomeou de SG 11, e a localização do projeto pelo item “Location”, em que se escolheu a cidade de Brasília. A localização utilizada é a fornecida pelo software, a qual será caracterizada posteriormente.

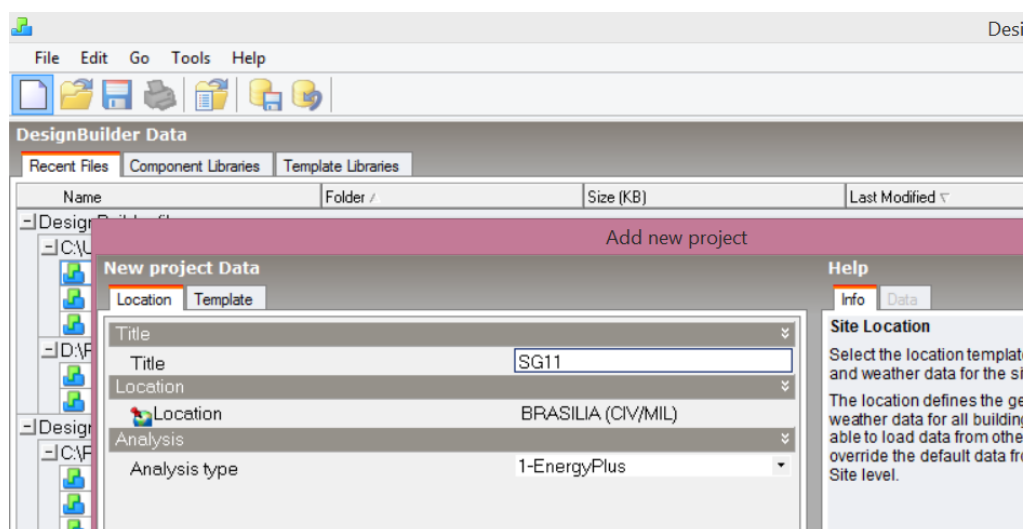


Figura 8.3: Caracterização inicial do projeto

Fonte: (*DesignBuilder*)

Para definir o tipo de modelo e seus detalhes, clica-se em “Add New Building”. Inicialmente, será usada a configuração padrão fornecida pelo software, conforme se observa na figura 8.4.

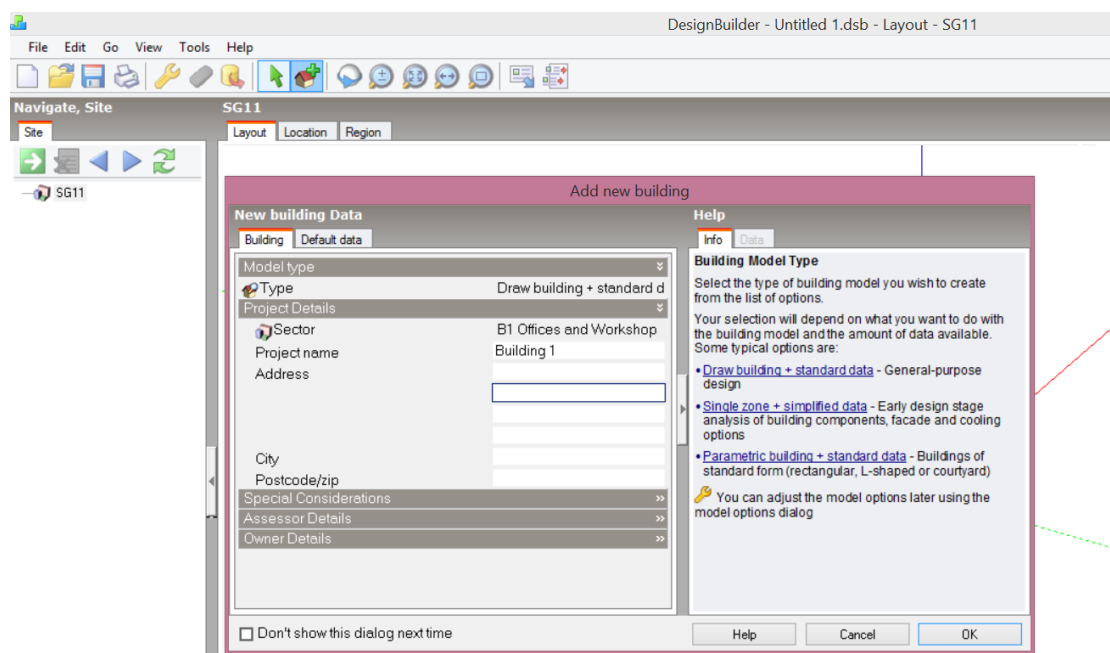


Figura 8.4: Caracterização inicial da construção

Fonte: (*DesignBuilder*)

Após realizar estas configurações iniciais, o software permite que o usuário inicie a definição geométrica do projeto. Devido à disponibilidade da planta baixa em arquivo digital, antes de iniciar o desenho do layout do edifício, a planta baixa é importada em formato DXF, conforme ilustrado na figura 8.5.

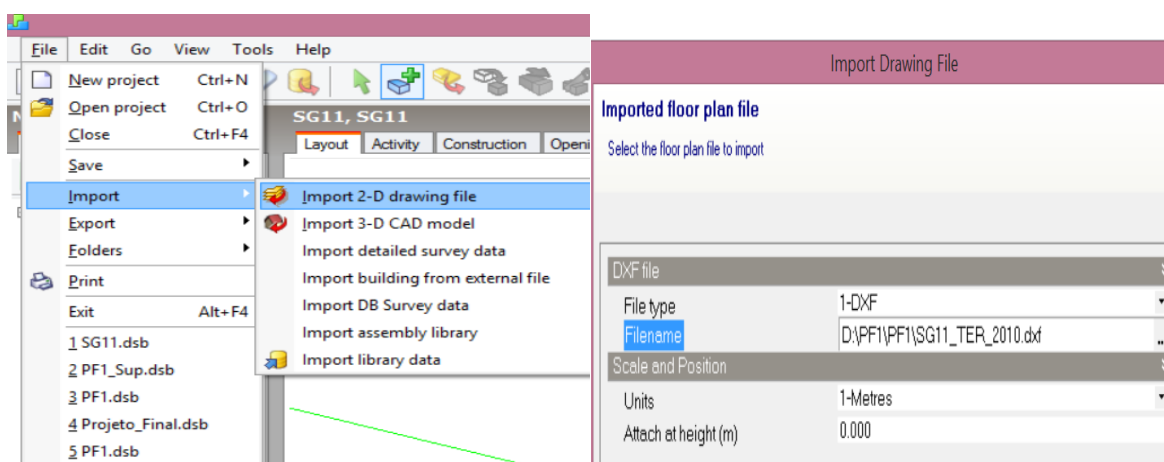


Figura 8.5: Importação do arquivo DXF para o software.

Fonte: (*DesignBuilder*)

Depois de ter importado o arquivo digital para o software, a construção do bloco será iniciada por meio do comando “*Add New Block*”. Usou-se a altura do pé-direito para o primeiro pavimento, que é de 2,77 metros, e a espessura da parede externa, que é de 62 milímetros.

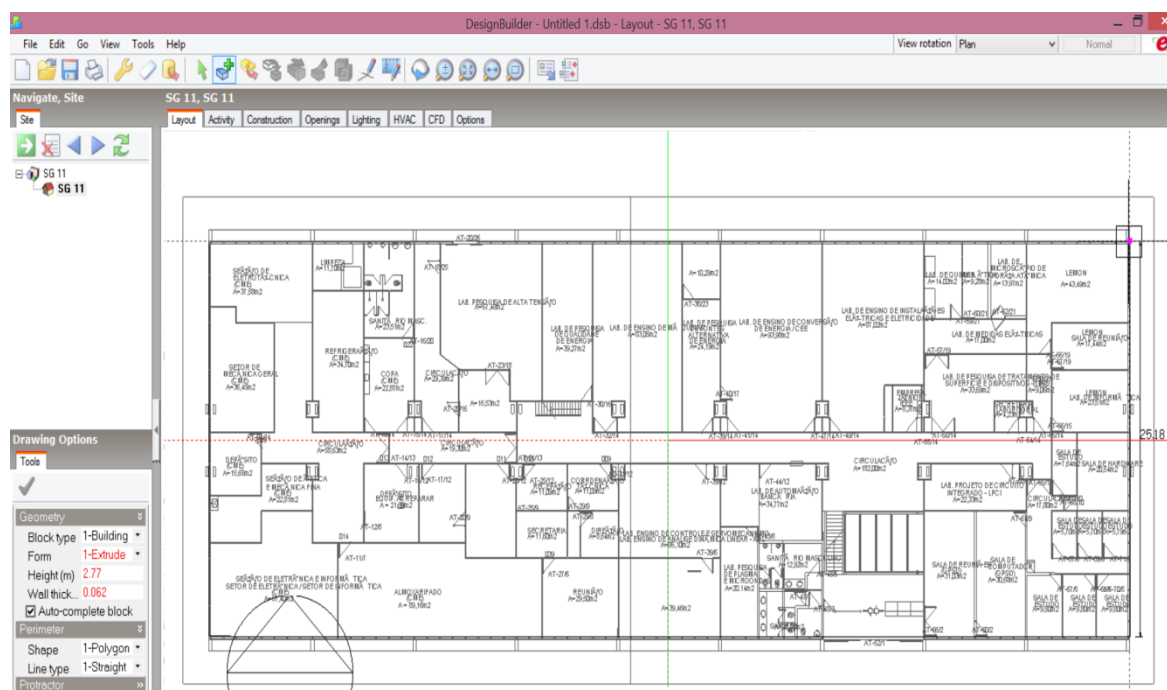


Figura 8.6: Modelagem do bloco que representa o pavimento térreo

Fonte: (*DesignBuilder*)

Logo depois de construído o bloco, definiram-se suas paredes internas utilizando o comando “*Draw Partitions*”, as quais definem as zonas do bloco. Assim, obteve-se o bloco que representa o pavimento térreo da edificação, conforme se observa na figura 8.7.

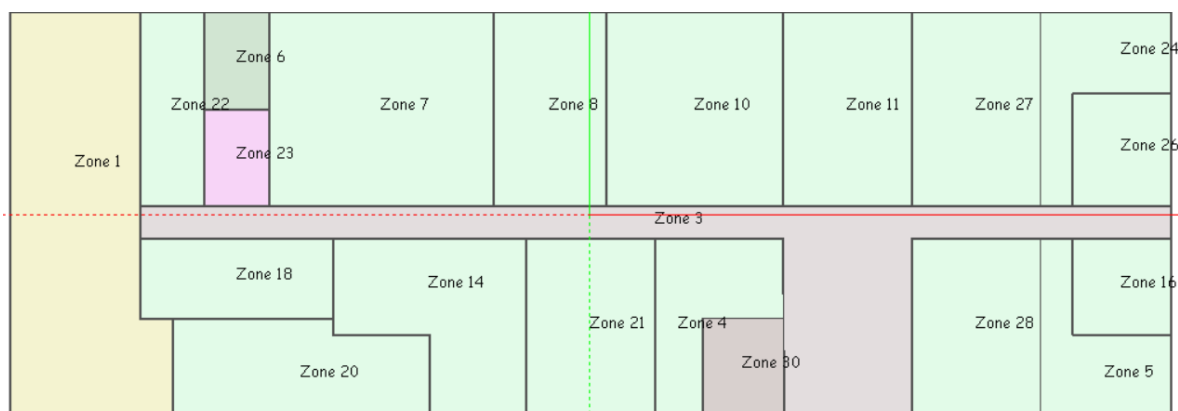


Figura 8.7: Pavimento térreo modelado

Fonte: (*DesignBuilder*)

Repete-se o mesmo procedimento para o Pavimento superior, observando suas particularidades. É importante lembrar que a altura do bloco é a soma do pé-direito com o piso do pavimento superior, obtendo-se uma altura total de 2,93 metros.

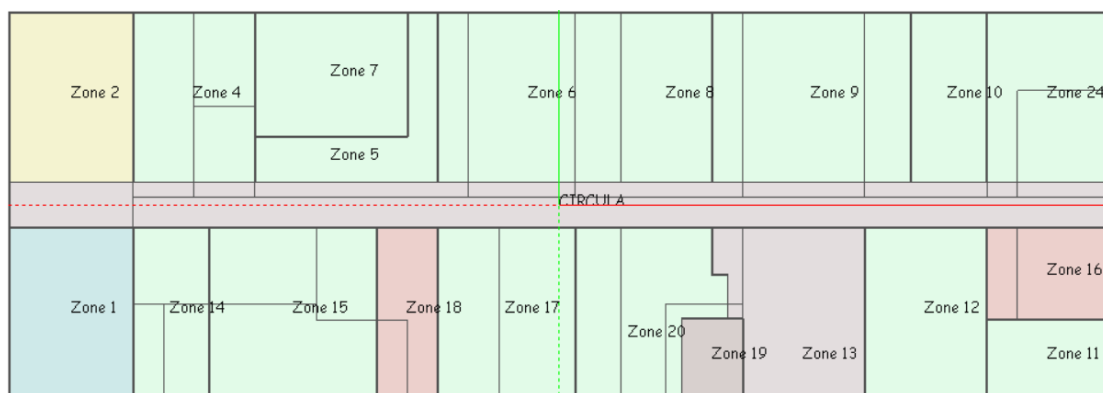


Figura 8.8: Pavimento superior modelado

Fonte: (*DesignBuilder*)

O procedimento seguinte é desenhar os elementos estruturais que afetam o sombreamento da edificação. Para isso, são utilizados “*Component blocks*”, os quais representam os pilares externos e a cobertura.

Após ter modelado todos os elementos construtivos que se deseja, realiza-se a montagem dos blocos. Esta montagem consiste em mover os blocos já modelados para a posição desejada, caracterizando um procedimento bem simples.

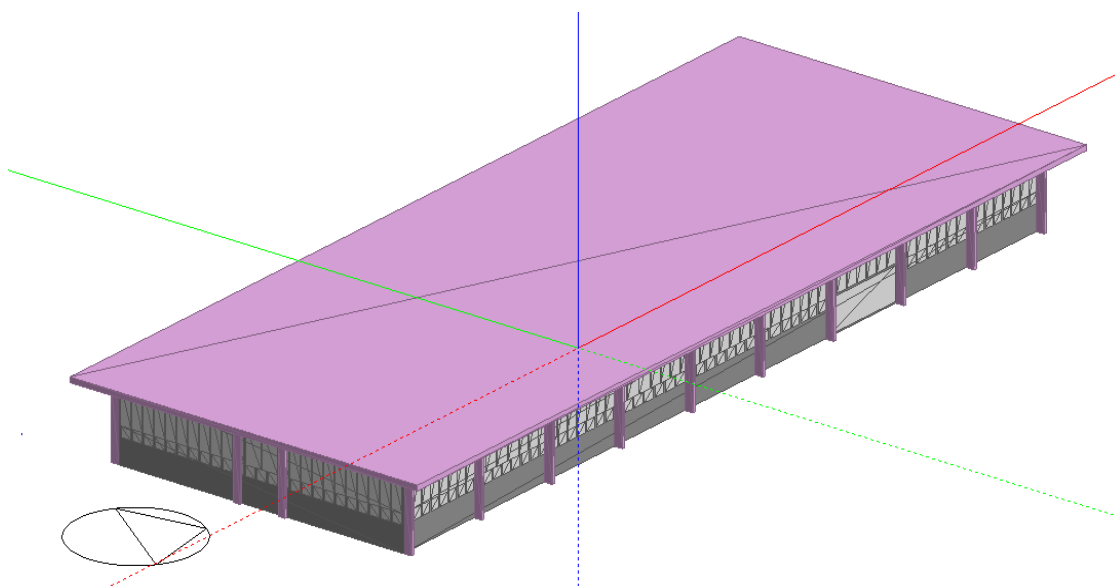


Figura 8.9: Modelagem geométrica da edificação

Fonte: (*DesignBuilder*)

Conforme mencionado anteriormente, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) as principais características que influenciam o comportamento térmico de uma edificação são a forma do volume, a orientação e os materiais dos fechamentos. A forma do volume da construção já está definida, porém não está orientada. O procedimento para orientar a edificação é simples. O valor do azimute em relação ao norte verdadeiro é inserido no campo “*Site orientation*”, e ao voltar ao layout observa-se a mudança de direção da seta indicadora da direção do norte.

A edificação será rotacionada em 234° em relação ao norte verdadeiro. Este valor foi obtido após a análise de quatro medidas diferentes:

1. Medição *in loco* do azimute em relação ao norte magnético por um aplicativo de bússola: 246°;
2. Utilização da orientação fornecida no arquivo fornecido pela Prefeitura do campus da UnB: 243,6°;
3. Utilização do sítio do *google maps* em relação ao norte verdadeiro: 234°;
4. A edificação do SG12, que tem orientação semelhante à do SG 11, foi definida por Eddris (2013) como 233,6°.

A partir destas medidas, e considerando o efeito da deflexão magnética, considerou-se ângulo de 234°. Além disso, o arquivo do *Test Reference Year* (TRY), disponibilizado no sítio do Labeee, foi utilizado para realizar as simulações.

Tabela 8.2: Localização e dados utilizados pelo programa

<b>Requisito</b>	<b>Padrão adotado</b>
Latitude	-15,87°
Longitude	-47,93°
Nível do mar	1061m
Exposição ao vento	Normal
Orientação solar	234°
Dados meteorológicos	BRASILIA_TRY1962

Fonte: (*DesignBuilder*)

O SG 11, depois de modelado, apresenta a configuração demonstrada na figura 8.10. Comparando-se a renderização do SG 11 no software, com a edificação física presente no campus da UnB, pode-se observar um alto nível de semelhança.





Tabela 8.3: Densidade de ocupação obtida por inspeção visual

Sala	Classificação	Área	Número de pessoas	Densidade de ocupação (Pessoas /m <sup>2</sup> )
A1 47/15 - LAVSI	Classroom	64,1	15	0,23400936
A1 39/12 - DTL - Sala de aula	Classroom	64,1	20	0,31201248
A1 58/15 - LARA	Classroom	62,98	15	0,238170848
AT 49/14 - Laboratório de eletricidade básica	Classroom	87,02	15	0,172374167
<b>Média</b>	Classroom			<b>0,239141714</b>
A1 07/15 - Almojarifado	Cupboard	74,84	2	0,026723677
AT - Depósito	Cupboard	180,03	5	0,027773149
<b>Média</b>	Cupboard			<b>0,027248413</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Como se pode notar na tabela 8.3, este procedimento foi realizado apenas para as zonas do tipo Classroom e Cupboard. Estes dois tipos de zonas somados representam aproximadamente 81% das zonas encontradas no prédio, conforme se observa na figura 8.11. As demais densidades de ocupação das zonas utilizadas foram de acordo com a configuração padrão do software.

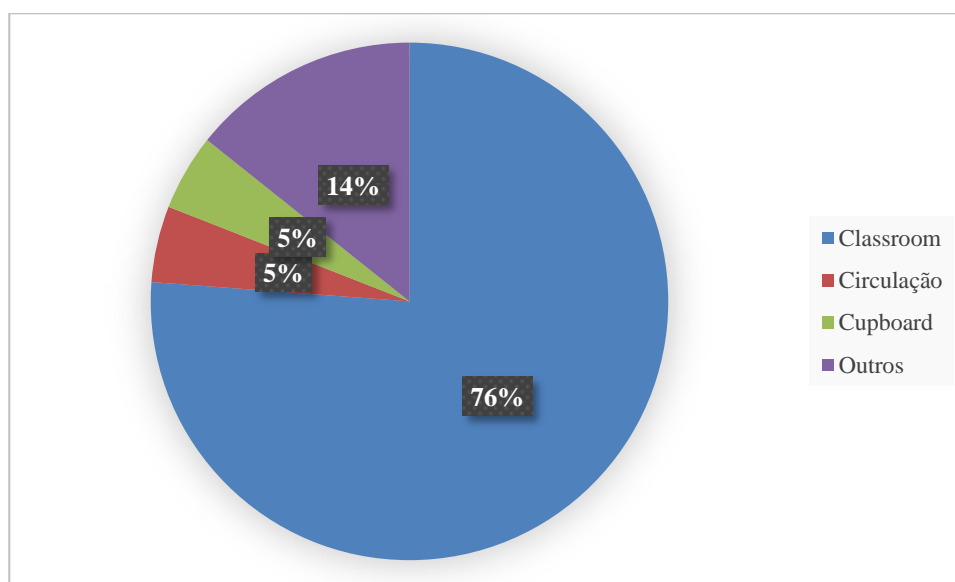


Figura 8.11: Representação do percentual do tipo de zona na edificação

A definição da densidade de ocupação de cada um dos ambientes da edificação é realizada por meio da aba “Activity”, no item “Occupancy”. Conforme ilustrado nas figuras 8.11 e na

tabela 8.3, as zonas do tipo “*Classroom*” representam 76% do total das zonas encontradas na edificação, e apresentam uma densidade de ocupação de aproximadamente 0,24 pessoas por metro quadrado. A figura a 8.12 seguir apresenta a declaração deste valor para o software.

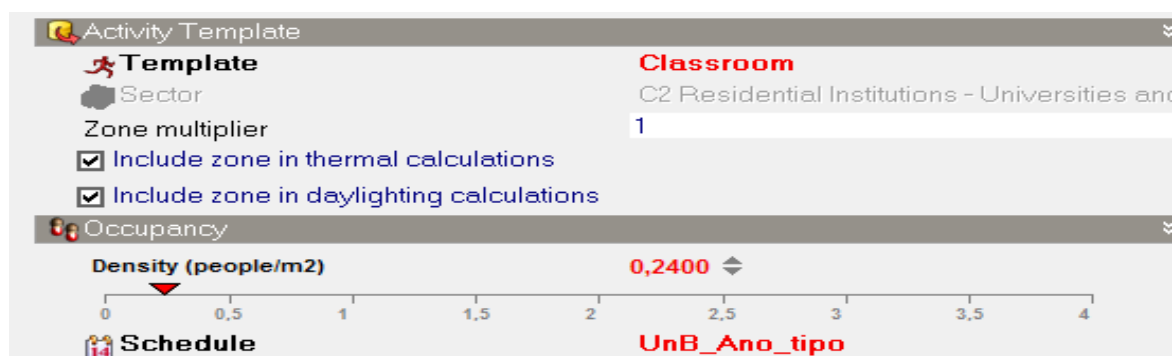


Figura 8.12: Classificação da atividade de uma zona e declaração da densidade de ocupação  
Fonte: (*DesignBuilder*)

A agenda do ano tipo da UnB foi definida, conforme tabela 8.4, sendo desligadas as atividades nos meses de janeiro, fevereiro, julho e dezembro, tanto para ocupação quanto para o uso de equipamentos. Esta aplicação apresenta diferenças no resultado das simulações, ao se considerar análises de consumos de energia e ganhos térmicos.

Tabela 8.4: Agenda do ano típico da UnB

Dias da semana						Sáb e Dom
Meses	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	
Janeiro	Férias Universitárias					Não há expediente
Fevereiro						
Março	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Abril	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Maio	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Junho	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Julho	Férias Universitárias					
Agosto	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Setembro	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Outubro	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Novembro	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	08:00 - 18:00	
Dezembro	Férias Universitárias					

Fonte: (Site oficial da UnB)

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o trabalho de Givoni (1992) para países em desenvolvimento é o mais adequado para as condições brasileiras. A carta bioclimática adotada para o Brasil define a zona de conforto térmico do usuário. Esta zona é função de duas condições, as quais devem ocorrer simultaneamente na edificação:

- 1- A umidade relativa do ar (UMR), que deve estar entre 20 e 80%;
- 2- A temperatura, que deve estar entre 18°C e 29°C.

Neste estudo, a condição de UMR não será analisada, apesar desta já estar embutida nos dados utilizados do TRY para a simulação da edificação. Além disso, os critérios utilizados pela norma ABNT NBR 15575:2013 neste trabalho abordam apenas as temperaturas da edificação, conforme visto na seção de dispositivos normativos. A condição de temperatura é declarada ao software por meio da aba “Activity”, no item “Environmental Control”. Além disso, a ventilação natural é acionada quando a temperatura ultrapassa os 29°C.

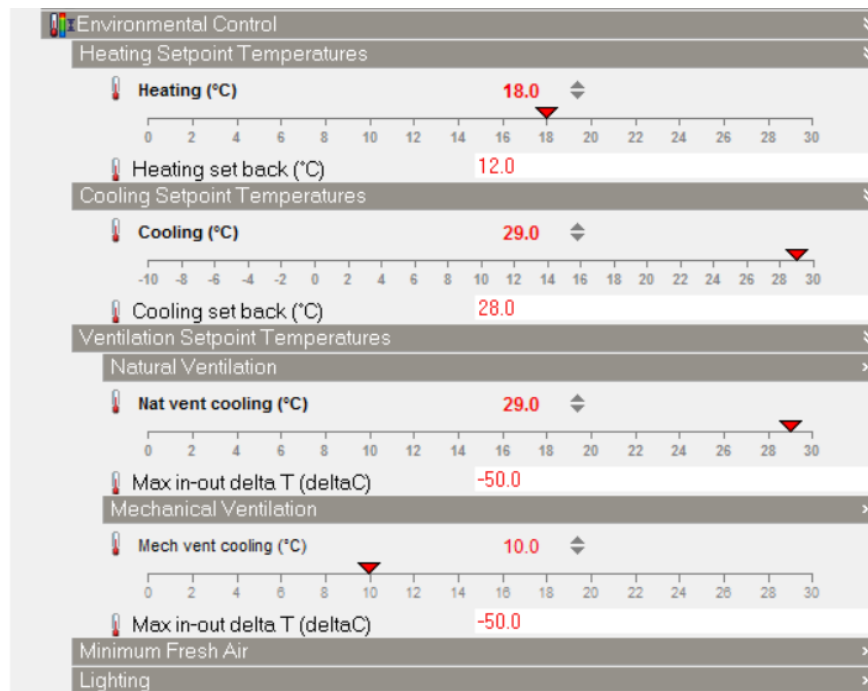


Figura 8.13: Controle de temperaturas do ambiente.

Fonte: (*DesignBuilder*)

O SG 11 é um laboratório que possui muitas máquinas elétricas. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), cada máquina de computador emite um ganho térmico médio de 400W. Sendo assim, consideramos uma média de sete a oito máquinas a cada 100 metros quadrados, obtendo-se 30 W/m<sup>2</sup>. Este valor é bem alto, devido ao fato de haver não somente computadores na sala, mas diversos aparelhos elétricos, tais como osciloscópios, geradores de ondas, entre outros, e estes estarem sendo considerados nesta taxa.

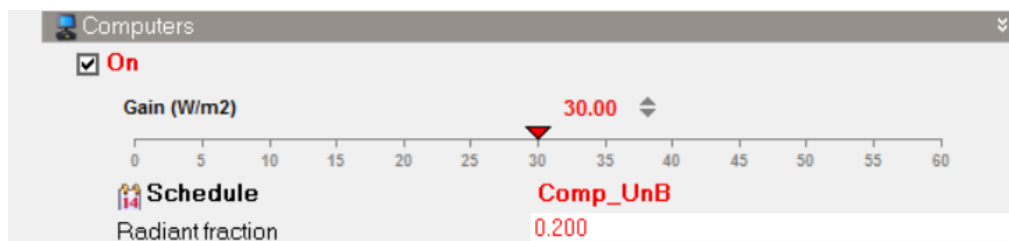


Figura 8.14: Ganhos de temperatura devido à máquinas de computador e outras.

Fonte: (*DesignBuilder*)

A ABNT NBR 15575:2013 permite que seja considerada uma taxa de renovação do ar, com o valor de 1 ren/h, a qual é aplicada ao modelo. É importante ressaltar também que devido à falta de estimativas sobre a taxa metabólica, consumo de água quente, e equipamento

de escritório, para cada uma destas atividades serão utilizados os dados padrões fornecidos pelo programa, apenas sendo ligados ou desligados estes comandos quando necessário.

Após definidas todas as atividades realizadas nas áreas do edifício, inicia-se uma das etapas mais importantes do processo de modelagem da edificação: a definição dos elementos construtivos presentes na edificação. Para isso, serão criados os componentes necessários, de acordo com as normas ABNT NBR 15220:2008 – Desempenho térmico de edificações e a ABNT NBR 15575:2013 – Desempenho de edificações habitacionais.

Os materiais construtivos utilizados na modelagem da edificação no software, bem como suas principais propriedades relacionadas ao desempenho térmico de edificações são apresentados a seguir, nas tabelas 8.5 e 8.6.

Tabela 8.5: Tipologias construtivas dos fechamentos transparentes

Local	Material	Espessura (mm)	Janela por parede %	Altura do parapeito (m)	Altura da Janela(m)	U (W/m <sup>2</sup> .K)
Janela do pavimento Superior	Vidro simples comum	3	24	2,10	0,80	5.894
Janela do Pavimento inferior	Vidro simples comum	3	90	0	2,77	5.894

Fonte: (Adaptado de: ABNT NBR 15220:2008)

Tabela 8.6: Tipologias construtivas dos fechamentos opacos

Local	Material	Espessura (mm)	$\lambda$ (W/(m.k))	c (J/(kg.K))	$\rho$ (kg/m³)	U (W/m².K)
Vedação externa	Placas de Concreto pré-moldado pintadas com tinta branca	62	1.750	1000	2300	4.868
Vedação interna	Placa de fibrocimento	5	0,700	840	1800	2.201
	Ar	50	R = 0,180 (m² . K/W)			
	Placa de fibrocimento	5	0,700	840	1800	
Laje padrão	Concreto Brasileiro	10	1.750	1000	2300	0,844
	Manta Asfáltica	2	0,23	1460	1050	
	Chapa de alumínio	30	230	880	2700	
	Isopor (EPS)	20	0,025	1420	15	
	Ar	250	R = 0,180 (m² . K/W)			
	PVC (Forro)	100	0,2	900	1300	
	Concreto Brasileiro	10	1.750	1000	2300	
Laje rebaixada	Manta Asfáltica	2	0,23	1460	1050	0,613
	Chapa de alumínio	30	230	880	2700	
	Isopor (EPS)	20	0,025	1420	15	
	Ar	250	R = 0,180 (m² . K/W)			
	PVC (Forro)	10	0,2	900	1300	
	Ar	650	R = 0,180 (m² . K/W)			
	Concreto Brasileiro	150	1.750	1000	2300	
Piso do pavimento superior	Piso Vinílico	2	2.800	1000	1300	2.773
	Argamassa Brasileira	27	1150	1000	1950	
	Concreto Brasileiro	100	1.750	1000	2300	
Piso do pavimento térreo	Piso granítico	2	2.800	1000	2600	3.442
	Argamassa Brasileira	27	1150	1000	1950	
	Concreto Brasileiro	100	1.750	1000	2300	

Fonte: (Adaptado de: ABNT NBR 15220:2008)

Definidas as principais características dos materiais presentes na edificação em estudo, apresentam-se figuras que ilustram a maneira como tais materiais se apresentam. Ressalta-se que se tentou ser o mais fiel o possível as tipologias construtivas encontradas *in loco*, apesar de nem sempre ser possível apresentar todos os elementos de maneira exatamente igual.

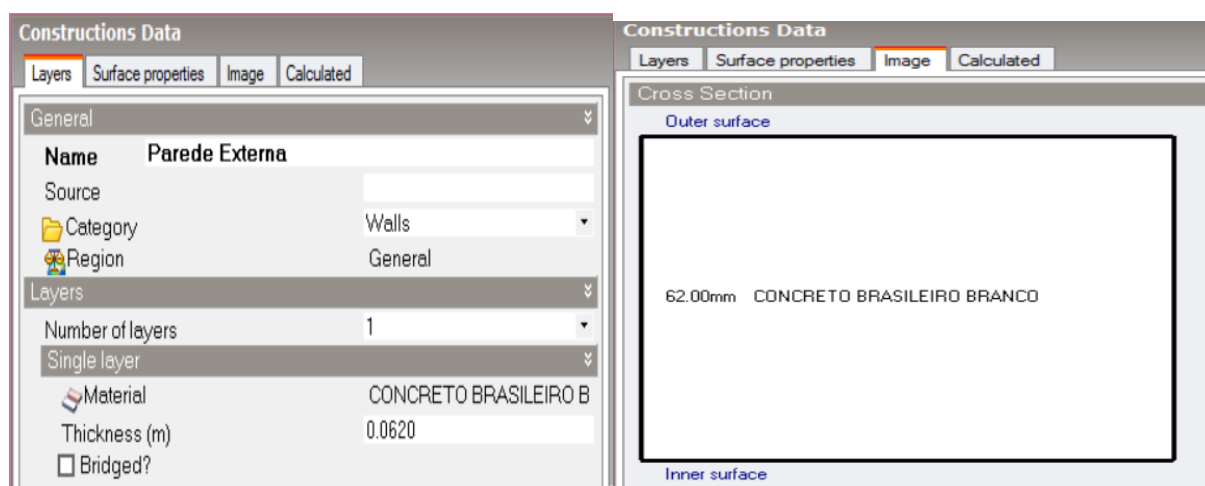


Figura 8.15: Material usado na vedação externa opaca, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)

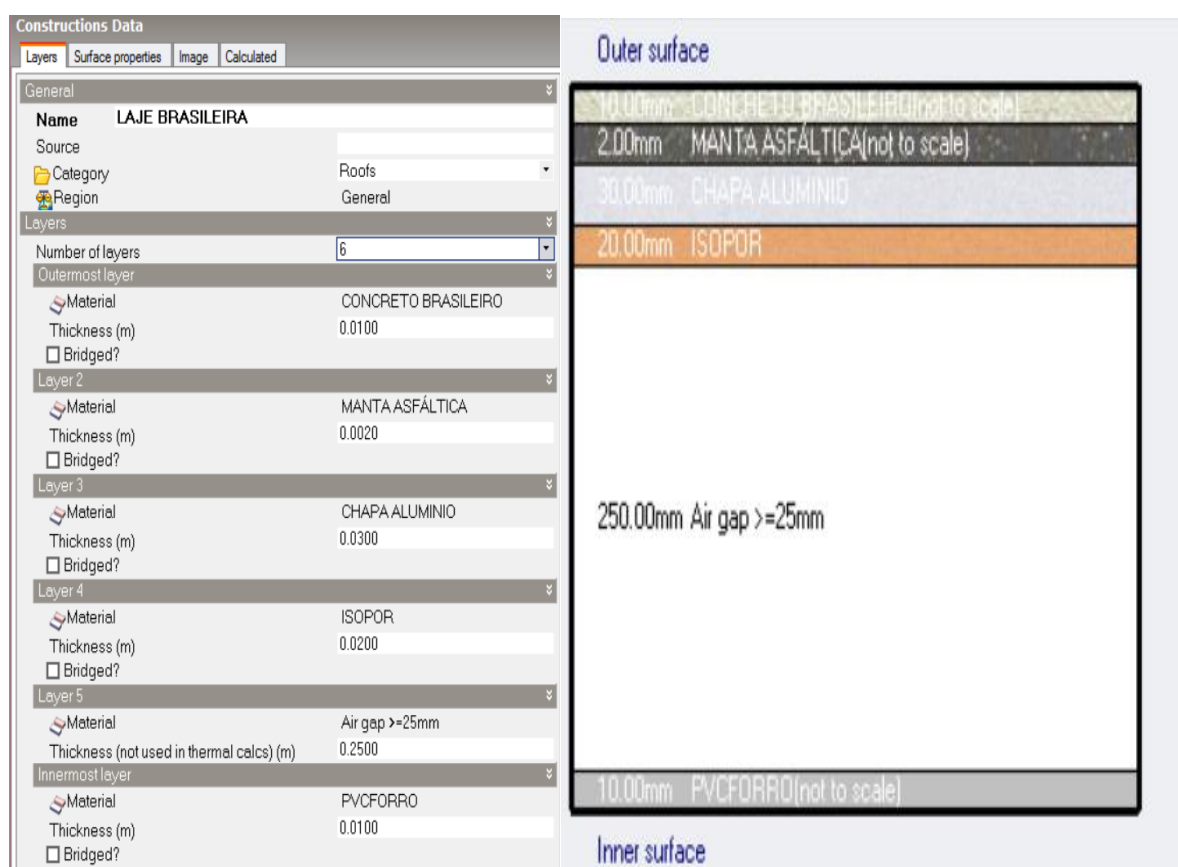


Figura 8.16: Material usado na laje, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)



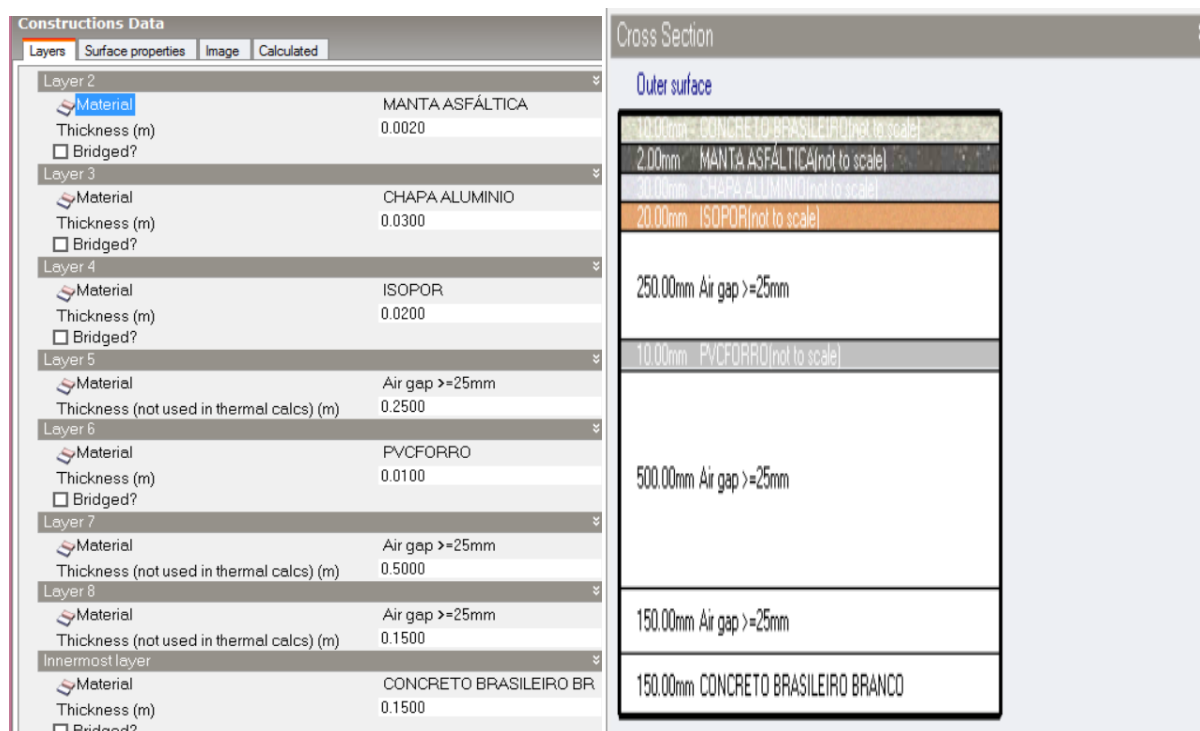


Figura 8.17: Material usado na laje rebaixada, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)

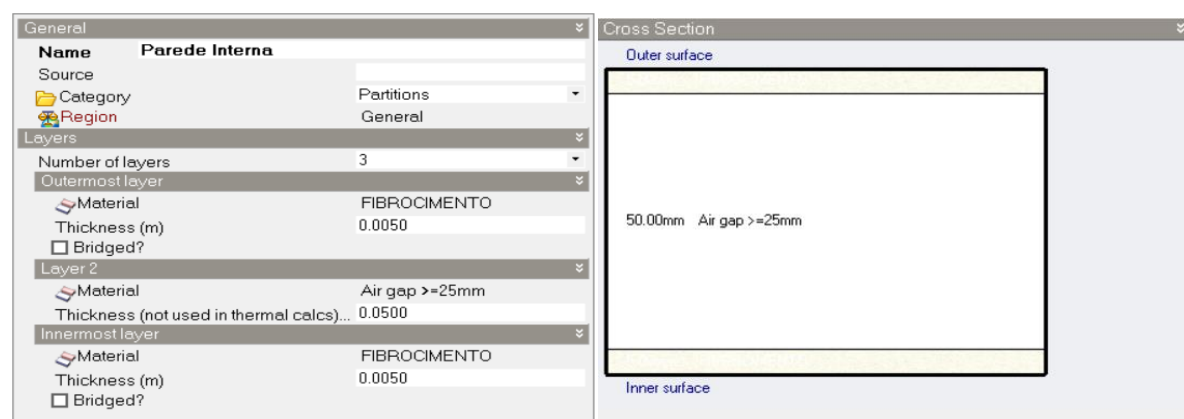


Figura 8.18: Material usado na vedação interna, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)

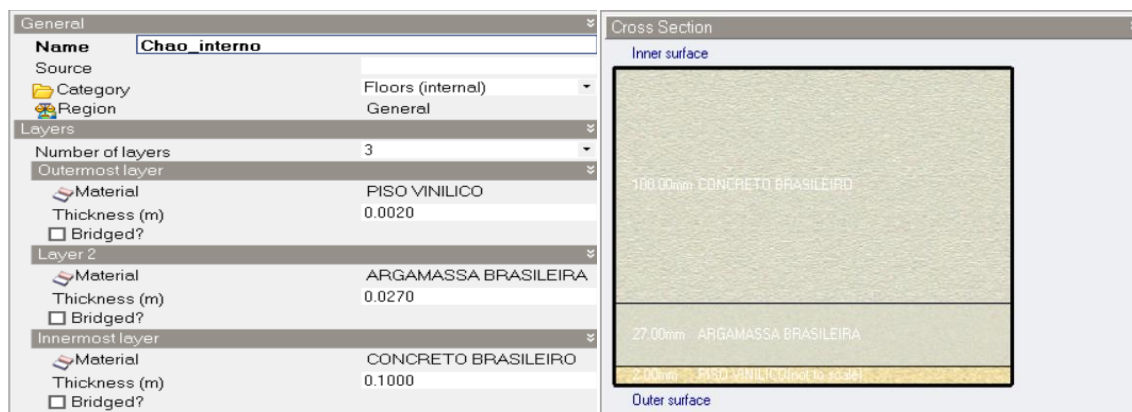


Figura 8.19: Material usado no piso do pavimento superior, apresentando a descrição do material (à esquerda) e o exemplo visual do material (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)

A tipologia construtiva utilizada para os fechamentos transparentes é bem simples, sendo os principais fatores que influenciam o desempenho térmico a relação janela por parede. A relação entre fechamento transparente e opaco é obtida por simples divisão. Sabe-se que o pavimento inferior é composto por placas de concreto e vidro simples, e que a cada metro de extensão, tem-se 2,10 metros de parede e 0,67 metros de janela, e no pavimento superior temos 90 centímetros de janela do piso ao forro, a cada metro de extensão.

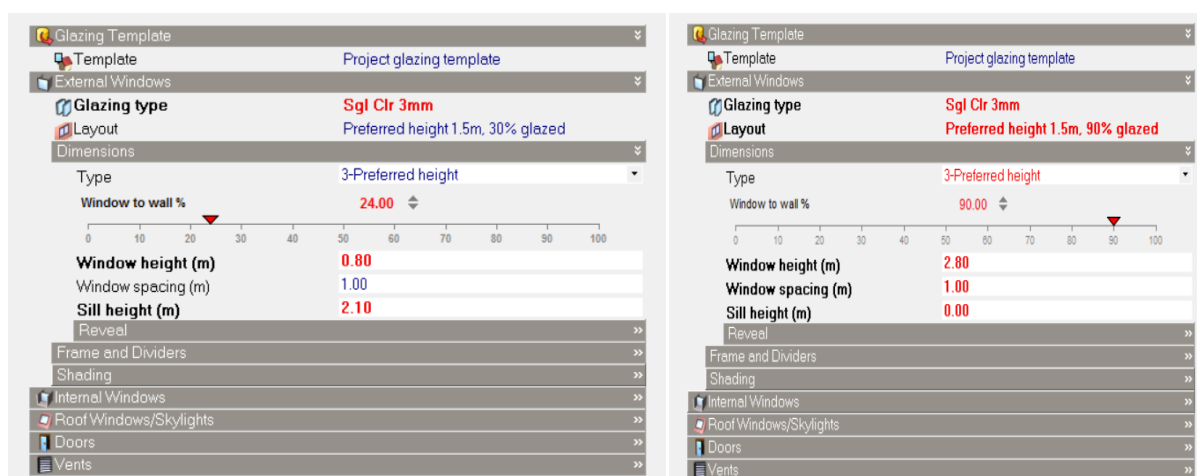


Figura 8.20: Configuração de fechamento transparente utilizada para o pavimento térreo (à esquerda) e para o pavimento superior (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)

Glazing Data	
Layers	Calculated
Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.861
Direct solar transmission	0.837
Light transmission	0.898
U-value (ISO 10292/EN 673) (W/m <sup>2</sup> -K)	5.829
U-Value (W/m <sup>2</sup> -K)	5.894

Figura 8.21: Características do vidro usado nas janela

Fonte: (*DesignBuilder*)

Quanto à iluminação da edificação, conforme mencionado anteriormente, são utilizadas lâmpadas fluorescentes de 32 Watts. Estas lâmpadas são acopladas em pares nas luminárias por meio de reatores, as quais são divididas de maneira bastante similar ao longo de toda a edificação. Sendo assim, optou-se por utilizar uma amostragem de alguns cômodos da edificação, e fazer a média de iluminação da edificação, obtendo assim uma estimativa da energia de iluminação presente na edificação.

Tabela 8.7: Estimativa média da energia de iluminação da edificação

Sala	Classificação	Área (m <sup>2</sup> )	Número de conjuntos	Potência (W)	Energia de iluminação por área (W/m <sup>2</sup> )	100 lux	Energia de iluminação (W/m <sup>2</sup> /100 lux)
A1 08/11	Classroom	36,21	8	512	14,1397404	1,297984	10,89361702
A1 04/11	Workshop	43,55	10	640	14,69575201	1,079219	13,61702128
A1 07/15	Cupboard	74,84	12	768	10,26189204	0,628006	16,34042553
A1 09/15	Classroom	38,41	6	384	9,997396511	1,22364	8,170212766
A1 42/12	Classroom	32,79	6	384	11,71088747	1,433364	8,170212766
<b>Média</b>							<b>11,43829787</b>

Segundo a estimativa apresentada na tabela 8.7, a energia de iluminação média obtida por amostragem é de 11,44 W/m<sup>2</sup>/100 lux. Um parâmetro que também pode ser definido pelo software é o posicionamento da luminária na edificação. O SG 11 apresenta suas luminárias localizadas aderidas ao forro, o que corresponde à opção “*Surface Mount*”, conforme se pode ver na figura 6.21.

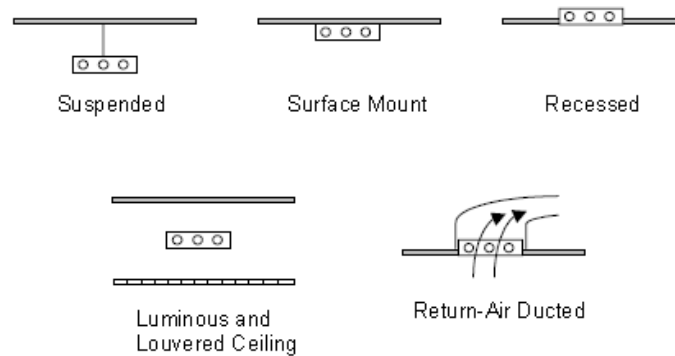


Figura 8.22: Opções de posicionamento das luminárias no *DesignBuilder*  
 Fonte: (<http://www.designbuilder.co.uk> )

A iluminância requerida foi definida como 500 Watts, e a unidade de fluxo luminoso por luminária de 4700 lúmens, obtidas a partir da norma ABNT NBR 5413:1992. Descritos todas as variáveis necessárias para se estabelecer a iluminação da edificação no software, estas são declaradas, conforme demonstrado na figura 8.23.

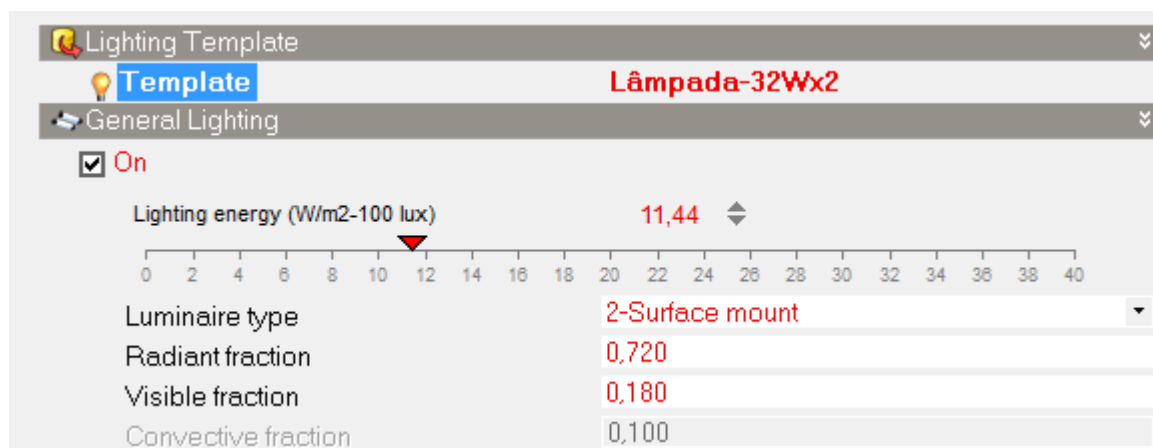


Figura 8.23: Iluminação utilizada no software  
 Fonte: (*DesignBuilder*)

A etiquetagem da edificação quanto à iluminação pode ser obtida a partir do sítio do Labeee. Os únicos dados necessários são a função da edificação, que neste caso é uma universidade, a área da edificação, que foi aproximada para 230 m<sup>2</sup> conforme a amostra utilizada, e a potência de iluminação, que é de 2688 Watts para esta área. O classificação obtida para a iluminação atual do SG 11 foi o nível B, conforme demonstrado na figura 8.24.



Figura 8.24: Etiquetagem de iluminação conforme o INMETRO

Fonte: (Sítio do Labeee)

A última etapa de configuração do software diz respeito aos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado (AVAC). Neste estudo, não serão considerados equipamentos deste tipo, apesar dos mesmos existirem *in loco*. Optou-se por esta configuração porque a edificação foi construída na década de 1960, e por isso, contém os mais diversos aparelhos de ar condicionado, variando entre potências de 4 a 60 mil Btus. Para contornar esta situação, optou-se por desconsiderar as máquinas de ar condicionado existentes, e avaliar apenas o desempenho térmico da edificação com a ventilação natural padrão.

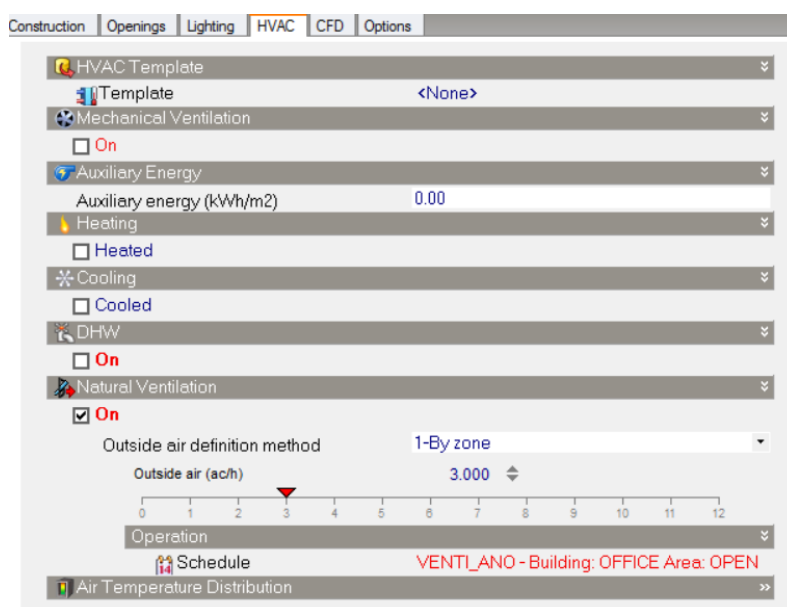


Figura 8.25: Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionamento considerados (AVAC)

Fonte: (*DesignBuilder*)

## 9. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta etapa, serão apresentados os resultados das simulações da edificação estudada, bem como suas possíveis alterações. Os parâmetros utilizados para a análise da edificação são:

- Temperatura externa do bulbo seco ( $T_e$ );
- Temperatura operativa ( $T_o$ ), que é um valor entre a temperatura do ar e a temperatura radiante;
- A zona de conforto estabelecida por Givoni (1992);
- Índice de Fanger PMV, em que o valor nulo seria aquele de neutralidade térmica para o usuário.

A ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho de edificações habitacionais apresenta seis partes, mas serão utilizadas para a análise as partes 1 – Requisitos gerais, 4 – Vedações verticais e 5 – Sistemas de coberturas. Esta norma foi criada com o intuito de atender às exigências do usuário, e apresenta três níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior. Para este projeto, será verificado apenas o atendimento do nível mínimo.

A cidade de Brasília está localizada na Zona Bioclimática 4, e para atender aos requisitos mínimos, deve atender aos critérios da ABNT NBR 15575:2013 já citados no capítulo 5 deste trabalho, que trata dos dispositivos normativos utilizados.

A simulação anual do SG 11 tem como objetivo visualizar o comportamento térmico da edificação numa escala maior de tempo. Além disso, ao se observar as simulações mensais e diárias para o período de um ano, é possível notar o funcionamento geral da edificação e verificar se alguns parâmetros de projeto utilizados estão funcionando corretamente.

Ao realizar simulações mensais e diárias para 365 dias, espera-se que estas apresentem baixos valores de ganhos térmicos durante os meses de férias escolares, que são janeiro, fevereiro, julho e dezembro. Segundo as figuras 10.1 e 10.2, os menores valores do índice de Fanger PMV, indicados pela linha verde do segundo gráfico, e de temperatura operativa, indicados pela linha verde do primeiro gráfico, encontram-se durante os meses de férias universitárias, devido a não utilização da edificação em tal período.

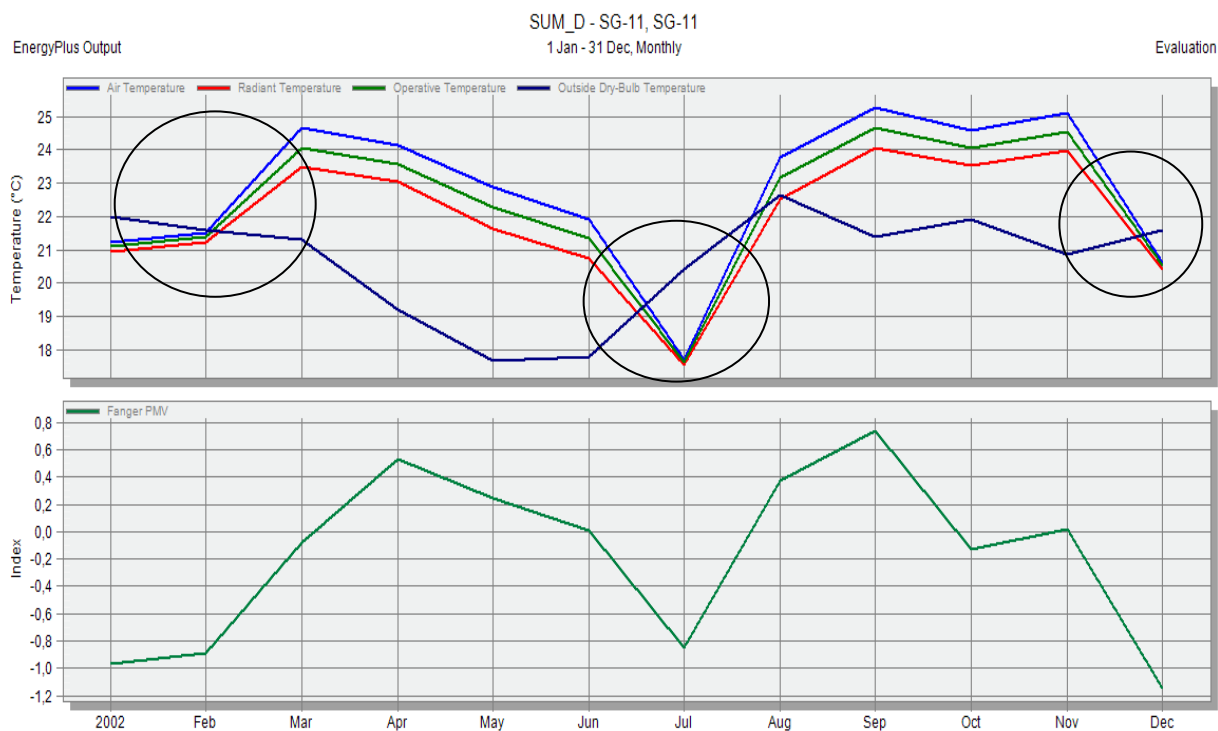


Figura 9.1: Resultados da simulação mensal para o período de um ano

Fonte: (*DesignBuilder*)

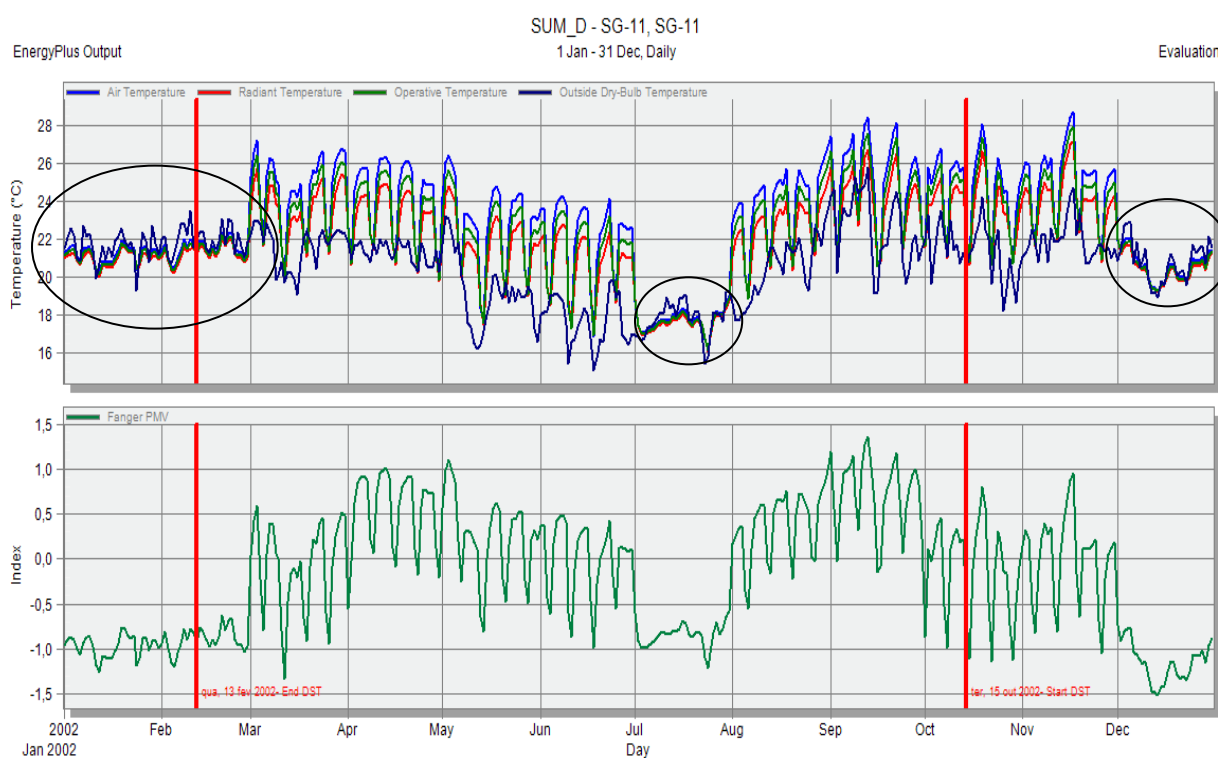


Figura 9.2: Resultados da simulação diária para o período de um ano

Fonte: (*DesignBuilder*)

É importante notar que estas simulações diárias e mensais têm como objetivo confirmar as expectativas acerca do funcionamento do modelo. Quanto ao atendimento dos requisitos da norma ABNT NBR 15575:2013, os critérios específicos citados na seção que trata dos dispositivos normativos devem ser utilizados para avaliar a edificação. Neste trabalho, também serão utilizados os critérios da zona de conforto estabelecida por Givoni (1992) e o índice de conforto térmico Fanger PMV.

## 9.1 AVALIAÇÃO DO DIA TÍPICO DE VERÃO

O dia típico de verão desta edificação é aquele que apresenta as características mais similares às aquelas expostas na norma ABNT NBR 15575:2013 para a zona Bioclimática em que a edificação se encontra. A fim de encontrar o dia típico de verão, inicialmente foi avaliada a semana típica de verão. A semana típica de verão ocorre entre os dias 06 e 12 de outubro. Sendo assim, é de interesse simular a edificação em tais datas. A tabela 10.1.1 apresenta os valores de temperatura externa obtidos pelo software, ordenados em ordem decrescente.

Tabela 9.1.1: Simulação do SG 11 durante a semana típica de verão

<b>Data/Hora</b>	<b>Temperatura Externa (°C)</b>
08-10-02 16:00	28
08-10-02 17:00	28
12-10-02 15:00	27,7
12-10-02 18:00	27,5
08-10-02 15:00	27,4
08-10-02 18:00	27,4
12-10-02 16:00	27,4
07-10-02 16:00	27,2

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Ao analisar os dados fornecidos pela simulação horária da semana típica de verão, pode-se notar que a edificação apresenta temperatura máxima exterior no dia oito de outubro de 2002 as 16 horas, com o valor de 28°C. Segundo a norma ABNT NBR 15575:2013, a temperatura máxima do dia típico de verão é de 31,2°C. Comparando-se estas temperaturas externas, pode-se observar que estas apresentam uma diferença de 3,2°C. Visando obter um dia mais



similar ao dia típico de verão exposto na norma ABNT NBR 15575:2013, o verão inteiro foi analisado.

A avaliação do verão foi considerada entre o dia 23 de setembro e o dia 20 de março, englobando as estações de primavera e verão. Decidiu-se analisar ambas as estações, devido à característica da edificação de não utilização durante os meses de dezembro, janeiro, e fevereiro, que representam quase todo o verão. A tabela 9.1.2 apresenta os resultados obtidos para o verão, ordenando as temperaturas externas de maneira decrescente.

Tabela 9.1.2: Simulação do SG 11 durante o verão

Data/Hora	Fanger PMV	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Externa (°C)
<b>26-11-02 15:00</b>	<b>-0,60</b>	<b>22,57</b>	<b>31,00</b>
26-11-02 14:00	-0,70	22,22	30,40
21-12-02 15:00	-0,88	21,43	29,90
07-01-03 15:00	-0,36	23,33	29,70
06-11-02 15:00	1,61	29,33	29,60
<b>14-11-02 17:00</b>	<b>2,77</b>	<b>33,83</b>	<b>29,60</b>
02-11-02 15:00	2,26	31,63	29,50
09-11-02 14:00	1,95	30,38	29,50
30-12-02 16:00	-0,23	23,81	29,50
02-11-02 18:00	2,11	29,43	29,40
22-11-02 16:00	2,07	30,91	29,40
23-11-02 17:00	2,15	31,02	29,40
19-12-02 16:00	-0,45	22,82	29,40

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Os dados obtidos a partir desta análise indicam a temperatura máxima externa de 31°C no dia 26 de novembro às 15 horas. Este dia apresenta uma diferença de apenas 0,2°C em relação ao dia típico de verão prescrito pela norma ABNT NBR 15575:2013, e por esse motivo este dia foi adotado com o dia típico de verão. Além disso, cabe ressaltar que durante este dia, a utilização da edificação não é considerada, o que está em conformidade com a norma supracitada.

A caracterização do desempenho térmico detalhado da edificação é importante, ao se pensar na aplicação de possíveis alterações locais na edificação visando melhorar o desempenho térmico da mesma. Sendo assim, a edificação foi analisada considerando-se o pavimento térreo e o pavimento superior. A tabela 9.1.3 apresenta os valores de temperatura

operativa, temperatura externa, e índice de Fanger PMV, sendo estes ordenados em função da temperatura externa decrescente.

Tabela 9.1.3: Simulação do pavimento superior durante o verão

Data/Hora	Fanger PMV	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Externa (°C)
<b>26-11-02 15:00</b>	<b>0,32</b>	<b>25,77</b>	<b>31,00</b>
26-11-02 14:00	0,20	25,38	30,40
21-12-02 15:00	0,02	24,51	29,90
07-01-03 15:00	0,77	27,26	29,70
06-11-02 15:00	2,55	32,48	29,60
<b>14-11-02 17:00</b>	<b>4,27</b>	<b>38,92</b>	<b>29,60</b>
02-11-02 15:00	3,42	35,59	29,50
09-11-02 14:00	2,98	33,92	29,50
30-12-02 16:00	0,93	27,76	29,50
02-11-02 18:00	3,30	33,64	29,40
22-11-02 16:00	3,13	34,50	29,40
23-11-02 17:00	3,19	34,51	29,40
19-12-02 16:00	0,53	26,13	29,40

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

O pavimento superior, conforme ilustrado na tabela 9.1.3, apresenta o valor do índice Fanger PMV de aproximadamente 0,32 no dia 26 de novembro, o que é classificado como neutro a levemente quente segundo a escala sétima do índice. Além disso, observa-se que a temperatura operativa é 5,23°C inferior à temperatura externa máxima no dia 26 de novembro, o que está em conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013.

O dia 14 de novembro é muito problemático, conforme evidenciado pela tabela 9.1.3, apresentando a temperatura operativa 9,32°C acima da temperatura externa máxima diária, o que não está em conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013. Além disso, o índice de Fanger PMV apresenta o valor 4,27, o que é classificado pela escala sétima do índice como muito quente. A tabela 9.1.4 apresenta os resultados obtidos para o pavimento térreo durante o verão.

Tabela 9.1.4: Simulação do pavimento térreo durante o verão

Data/Hora	Fanger PMV	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Externa (°C)
<b>26-11-02 15:00</b>	<b>-1,41</b>	<b>19,76</b>	<b>31,00</b>
26-11-02 14:00	-1,49	19,45	30,40
21-12-02 15:00	-1,65	18,77	29,90
07-01-03 15:00	-1,33	19,94	29,70
06-11-02 15:00	0,71	26,33	29,60
<b>14-11-02 17:00</b>	<b>1,42</b>	<b>29,33</b>	<b>29,60</b>
02-11-02 15:00	1,15	27,86	29,50
09-11-02 14:00	0,94	26,94	29,50
30-12-02 16:00	-1,21	20,49	29,50
02-11-02 18:00	1,02	25,67	29,40
22-11-02 16:00	1,04	27,47	29,40
23-11-02 17:00	1,14	27,68	29,40
19-12-02 16:00	-1,29	19,99	29,40

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da tabela 9.1.4, nota-se que o pavimento térreo apresenta o valor do índice Fanger PMV de -1,41 no dia 26 de novembro, o que é classificado como levemente frio a frio, segundo a escala sétima do índice Fanger PMV. Apresenta também a temperatura externa máxima 11,24°C acima da temperatura operativa neste dia, o que está em conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013.

Apesar do pavimento térreo da edificação apresentar uma temperatura externa menor no dia 26 de novembro, nota-se que o dia 14 de novembro é mais problemático que o dia 26 de novembro. Segundo o critério da norma supracitada, a temperatura operativa máxima está 0,27°C abaixo da temperatura externa máxima, o que está em conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013, porém muito próximo do limite estipulado pelo critério das temperaturas máximas. Além disso, o índice de Fanger PMV apresenta o valor 1,42 o que é classificado pela escala sétima do índice como levemente quente a quente.

Após analisar os dois pavimentos da edificação, nota-se que o pavimento superior é mais problemático que o térreo, apresentando maiores temperaturas operativas e piores classificações de conforto térmico segundo a escala sétima do índice de Fanger PMV, tanto para o dia 26 de novembro quanto para o dia 14 de novembro. Isto já era previsível, devido à fachada do pavimento superior ser praticamente toda envidraçada.

Conforme foi analisado, o dia 26 de novembro é o dia mais próximo do dia típico de verão estabelecido pela norma, e por isso foi considerado o dia típico de verão para a análise desta edificação. Foi feita uma análise ainda mais detalhada da edificação, visando saber quais salas são as mais problemáticas do edifício, em função das suas diferentes localizações. As figuras 9.1.1 e 9.1.2 identificam os diversos cômodos da edificação sua posição e orientação.

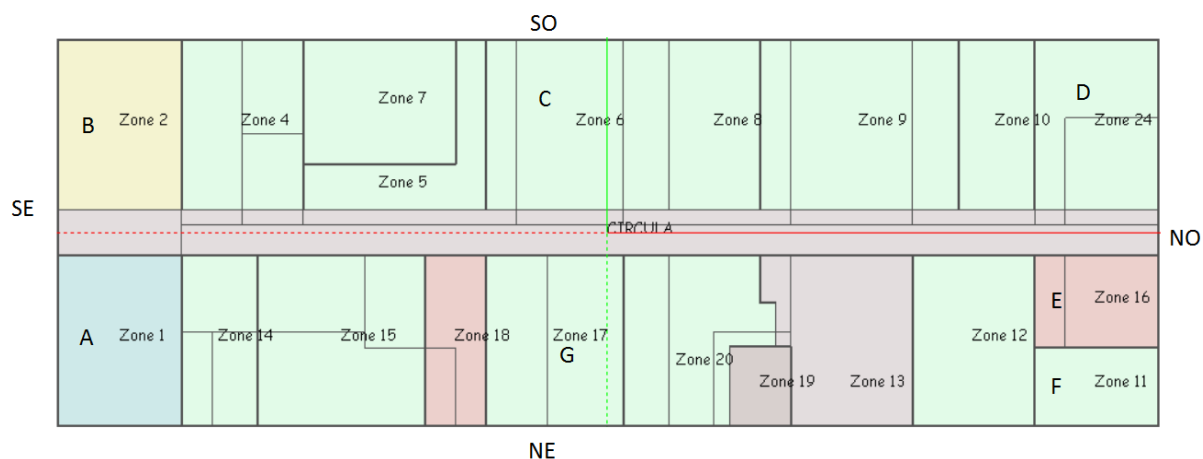


Figura 9.1.1: Identificação das zonas avaliadas e a orientação de suas fachadas para o pavimento superior

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

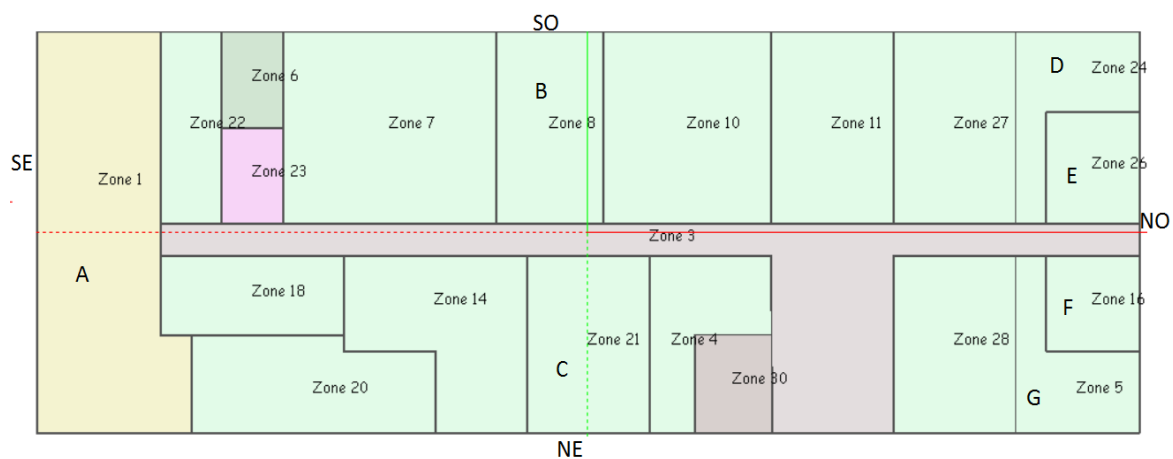


Figura 9.1.2: Identificação das zonas avaliadas e a orientação de suas fachadas para o pavimento térreo

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Observando as figuras 9.1.1 e 9.1.2, nota-se que algumas zonas apresentam diferentes cores. Estas cores representam as classificações utilizadas para as zonas presentes na edificação, sendo:

- Verde Claro: Salas de aula (maioria das zonas);
- Amarelo escuro: Depósito/almojarifado (zona 2 do pavimento superior);
- Verde escuro: Vestiário (Zona 6 do pavimento térreo);
- Azul claro: Oficinas (Zona 1 do pavimento superior);
- Roxo claro: Circulação (Zona 3 do pavimento térreo e zona 13 e CIRCULA do pavimento superior);
- Rosa: Cozinha dos funcionários (Zona 23 do pavimento térreo);
- Vermelho claro: Serviços administrativos (Zona 16 e 18 do pavimento superior); e
- Roxo escuro: Banheiros (Zona 19 do pavimento superior e zona 30 do pavimento térreo).

As zonas aqui avaliadas são identificadas a partir da orientação das fachadas que as compõem. Como exemplo, a zona 1 do pavimento térreo é classificada como zona nordeste, sudeste, e sudoeste. Estas orientações são identificadas nas tabelas a seguir por meio de abreviações, onde nordeste equivale à NE, noroeste a NO, sudoeste a SO e sudeste a SE.

Definidas as posições e orientações das zonas à serem avaliadas, foi realizada a análise de cada delas. Esta análise foi feita a partir da comparação das temperaturas operativas máximas diárias, ou de pico, encontradas nestas zonas, segundo as análises horárias do dia típico de verão. A tabela a 9.1.5 demonstra o cenário atual das zonas avaliadas durante o dia típico de verão.

Tabela 9.1.5: Simulação das principais zonas durante o dia típico de verão

Pavimento	Zona	Localização	Temperatura Externa (°C)	Pico de temperatura operativa (°C)	Fanger PMV
Pavimento Inferior	1	SE+NE+SO	31	21,31	-0,93
	3	CENTRAL	31	19,49	-1,45
	8	SO	31	20,05	-1,29
	21	NE	31	19,74	-1,38
	26	NO	31	21,20	-0,96
	24	NO+SO	31	21,84	-0,78
	5	NE+NO	31	21,51	-0,89
	16	NO	31	21,00	-1,02
Pavimento Superior	1	NE+SE	31	26,78	1,03
	2	SE+SO	31	26,20	0,46
	CIRC	CENTRAL	31	24,45	-0,04
	6	SO	31	25,45	0,24
	17	NE	31	25,36	0,22
	24	NO+SO	31	27,03	0,70
	11	NO+NE	31	27,43	0,80
	16	NO	31	26,53	0,30

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da tabela 9.1.5, pode-se notar que nenhuma das temperaturas operativas de pico obtidas excede a temperatura externa, tanto para o pavimento superior quanto para o pavimento inferior. Segundo o critério das temperaturas máximas da norma ABNT NBR 15575:2013, esta edificação está em conformidade quanto ao desempenho térmico mínimo.

Outra observação importante é que o maior pico de temperatura do pavimento inferior, que é de 21,84°C é inferior ao maior pico de temperatura operativa do pavimento superior, que é de 27,43°C. Este é mais um indicativo de que o pavimento superior é o mais preocupante no que tange ao atendimento do desempenho térmico mínimo da edificação, segundo a norma ABNT NBR 15575:2013.

Analisando as diferentes zonas da edificação, percebe-se que as zonas centrais sempre apresentam a menor temperatura operativa de pico em relação ao pavimento em que se encontram. Observa-se também que em ambos os pavimentos, as salas que são compostas por duas fachadas, sendo uma delas a noroeste, apresentam as maiores temperaturas operativas do

pavimento a que pertencem. Sendo assim, segundo o critério das temperaturas máximas da norma ABNT NBR 15575:2013, as zonas que apresentam mais de uma fachada, sendo uma delas a noroeste, são consideradas as mais preocupantes.

Segundo o critério de conforto térmico de Givoni (1992), que estabelece a faixa de temperatura entre 19 e 28°C como a zona de conforto térmico, todas as zonas avaliadas se encontram dentro desta faixa segundo as temperaturas operativas de pico durante o dia típico de verão.

## 9.2 AVALIAÇÃO DO DIA TÍPICO UTILIZADO DE VERÃO

Deseja-se também fazer uma análise um pouco diferente da norma, levando em consideração a utilização da edificação. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) deve-se fazer a análise do verão e do inverno levando em consideração às cargas internas da edificação, caso contrário, a realidade não seria representada.

Visando fazer esta análise supracitada, o dia 14 de novembro é selecionado, pois neste dia a edificação é utilizada, e por apresentar o maior índice de Fanger PMV e a maior temperatura operativa, segundo a tabela 9.1.2 já apresentada. O dia 14 de novembro foi denominado o dia típico utilizado de verão. A temperatura externa máxima no dia 14 de novembro é 29,6°C, e os resultados obtidos para as zonas avaliadas são apresentados na tabela 9.2.1, sendo destacadas todas as temperaturas de pico que excedem a temperatura externa.

Tabela 9.2.1: Simulação das principais zonas durante o dia típico utilizado de verão

Pavimento	Zona	Localização	Temperatura Externa (°C)	Pico de temperatura operativa (°C)	Fanger PMV
Pavimento Inferior	1	SE + NE+ SO	29,6	25,61	0,17
	3	CENTRAL	29,6	25,54	0,18
	8	SO	29,6	31,21	2,02
	21	NE	29,6	30,13	1,74
	26	NO	29,6	30,95	1,94
	24	NO+SO	29,6	32,22	2,29
	5	NE+NO	29,6	30,81	1,91
	16	NO	29,6	30,54	1,82
Pavimento Superior	1	NE+SE	29,6	36,37	3,15
	2	SE+SO	29,6	33,67	2,53
	CIRC	CENTRAL	29,6	31,66	1,97
	6	SO	29,6	41,78	5,17
	17	NE	29,6	40,49	4,85
	24	NO+SO	29,6	41,23	5,02
	11	NO+NE	29,6	39,98	4,68
	16	NO	29,6	37,54	4,03

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da tabela 9.2.1, pode-se notar que todas as temperaturas operativas de pico do pavimento superior excedem a temperatura externa. Apenas as zonas 1 e 3 do pavimento



inferior apresentam temperaturas operativas de pico inferiores a temperatura externa. Segundo o critério das temperaturas máximas da norma ABNT NBR 15575:2013, esta edificação não está em conformidade quanto ao desempenho térmico mínimo.

Observa-se também que os maiores picos de temperatura operativa por pavimento encontrados na edificação localizam-se na zona 24, para o pavimento térreo, e na zona 6 para o pavimento inferior, que são compostas pelas fachadas noroeste e sudoeste, e sudoeste, respectivamente.

Ao comparar os resultados obtidos para o dia 26 de novembro, no qual a utilização da edificação não é considerada, e para o dia 14 de novembro, no qual a utilização da edificação é considerada, nota-se que os cenários são muito distintos. Observa-se que a utilização desta edificação apresenta grandes ganhos térmicos, devido à ocupação, iluminação e maquinário presente na edificação.

A seguir, serão apresentadas estratégias utilizadas visando melhorar o desempenho térmico da edificação, a fim de que a edificação esteja em conformidade segundo o critério mínimo de desempenho térmico da norma ABNT NBR 15575:2013 para o dia típico utilizado de verão.

#### 9.2.1 ESTRATÉGIA 1

A primeira estratégia consiste em alterar a coloração da camada mais externa da cobertura da edificação, por meio da pintura em cor branca. Atualmente, a edificação apresenta concreto aparente em sua camada mais externa, de coloração cinza escura. A cor da cobertura afeta diretamente o fator de absortividade solar, sendo que as cores claras, segundo a norma ABNT NBR 15575:2013, apresentam um valor de 0,3.

Segundo a norma ABNT NBR 15575:2013, coberturas situadas na zona Bioclimática 4 com absortância à radiação solar inferior a 0,6 devem apresentar uma transmitância térmica inferior a 2,3 W/m<sup>2</sup>.k. A partir do software, obteve-se o valor da transmitância térmica da cobertura de 0,844 W/m<sup>2</sup>.k, o que está em conformidade com a norma supracitada. A figura 9.2.1.1 e 9.2.1.2 apresentam a nova tipologia construtiva e a transmitância térmica obtida pelo *software*.

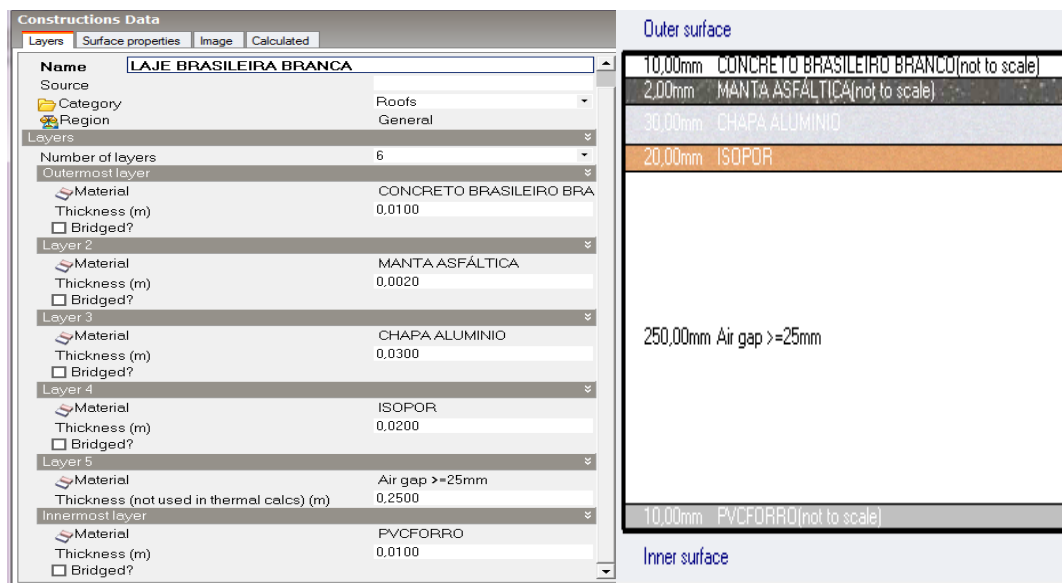


Figura 9.2.2.1: Descrição da tipologia construtiva utilizada na estratégia 1 para cobertura (à esquerda) e vista em corte da tipologia construtiva (à direita)

Fonte: (*DesignBuilder*)

<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>0,844</b>
-------------------------	--------------

Figura 9.2.2.2: Transmitância térmica obtida para a cobertura utilizada na estratégia 2

Fonte: (*DesignBuilder*)

Depois de realizada a mudança da coloração da camada mais externa da cobertura, realizou-se uma nova simulação da edificação para o dia típico utilizado de verão, 14 de novembro. Os resultados obtidos foram tabelados, e estão aqui apresentados por meio de um gráfico comparativo. Este gráfico comparativo tem por objetivo evidenciar a redução da temperatura operativa de pico adquirida por meio da estratégia 1, para todas as zonas avaliadas neste trabalho. A estratégia 1 foi denominada de alterado, e o cenário da configuração presente na edificação foi denominado atual, conforme pode-se observar na figura 9.2.1.3.

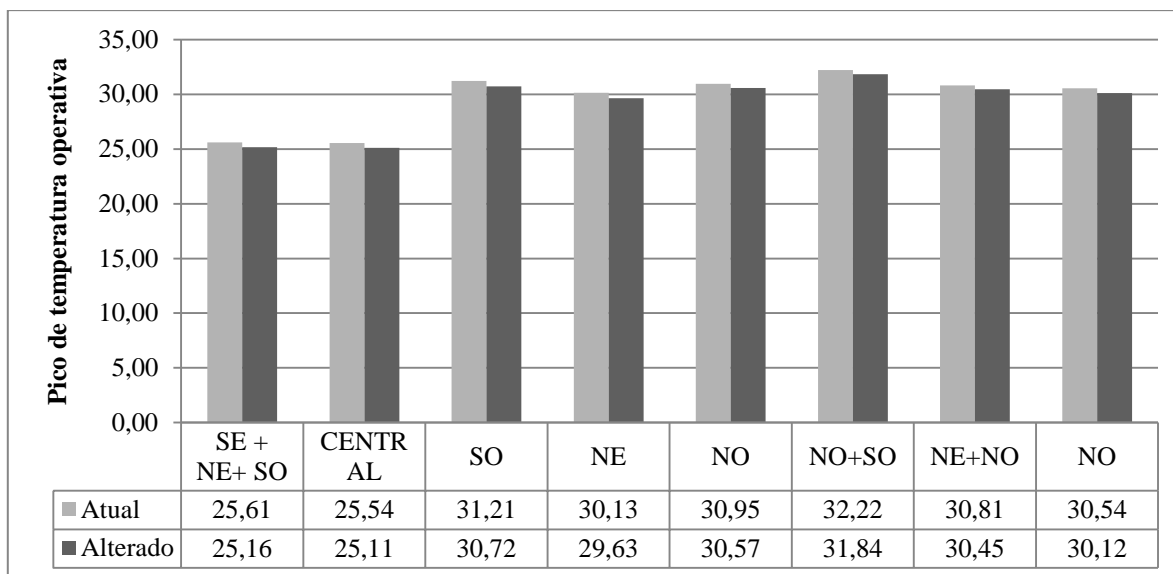


Figura 9.2.1.3: Comparação entre o cenário atual e alterado para a estratégia 1 do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.1.3, nota-se que a estratégia utilizada melhorou o desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas operativas de pico para todas as zonas do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão. Além disso, pode-se notar que a zona composta pelas fachadas noroeste e sudoeste continua apresentando a maior temperatura operativa de pico do pavimento térreo, de 31,84°C.

Conforme já foi mencionado, a temperatura externa máxima durante o dia típico utilizado de verão é de 29,6°C. Observa-se que as únicas zonas que apresentam temperaturas operativas de pico inferiores a 29,6°C são aquelas compostas pelas fachadas SE+ NE+ SO e central.

Além disso, a redução média da temperatura operativa do pavimento térreo do SG 11 por meio da estratégia 1 foi de 0,43°C. A zona nordeste apresentou a maior redução da categoria, com o valor de 0,50°C, enquanto a zona composta pelas fachadas nordeste e noroeste apresentou a menor redução, com o valor de 0,36°C.

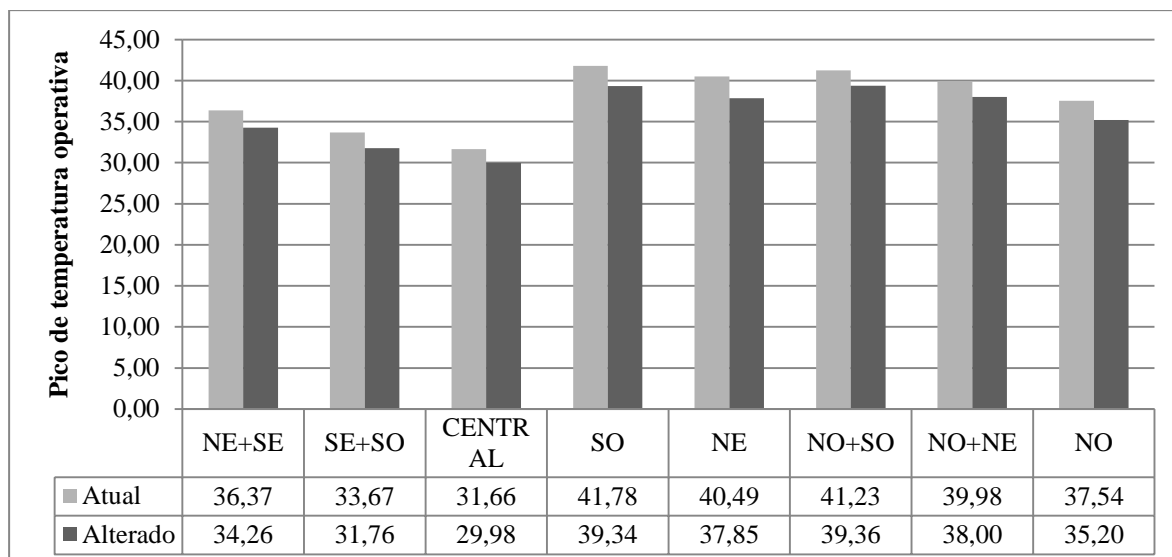


Figura 9.2.1.4: Comparação entre o cenário atual e alterado 1 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir das figuras 9.2.1.3 e 9.2.1.4, nota-se que a estratégia 1 melhorou o desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas operativas de pico para todas as zonas avaliadas durante o dia típico utilizado de verão. Observa-se também que o pavimento superior apresenta maior redução média da temperatura operativa de pico durante o dia típico utilizado de verão devido a esta estratégia, com o valor de 2,34°C.

Ao analisar as zonas mais críticas presentes no pavimento superior, a zona noroeste e sudoeste apresentou uma redução de 1,87°C. Já a zona sudoeste apresentou uma redução de 2,44°C. Esta redução na temperatura operativa de pico é significativa, mas a edificação ainda se encontra a 9,76°C de se igualar a temperatura externa máxima diária na zona que apresenta maior temperatura operativa de pico, que é de 39,36°C. Sendo assim, afirma-se que a estratégia 1 não é suficiente para atender a norma ABNT NBR 15575:2013. Visando atender a norma já citada, será analisada uma nova proposta com uma alteração construtiva do sistema de cobertura existente.

## 9.2.2 ESTRATÉGIA 2

A segunda estratégia tem como objetivo analisar a alteração do sistema cobertura atual por um que apresente uma transmitância térmica menor. Conforme já foi mencionado, o sistema de cobertura atual apresenta uma transmitância térmica de 0,844 W/m<sup>2</sup>.k. Analisaram-se

alguns materiais, e decidiu-se utilizar um sistema de cobertura composto de telhas termo acústicas de alumínio.

A nova tipologia construtiva consiste em duas chapas de alumínio de dez milímetros, separadas por uma camada de cinquenta milímetros de isopor. A transmitância térmica deste sistema de cobertura é de  $0,467 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ , ou seja,  $0,377 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$  menor que o sistema de cobertura presente na edificação. As figuras 9.2.2.1 e 9.2.2.2 apresentam um detalhe em corte da tipologia construtiva, e sua transmitância térmica, respectivamente.

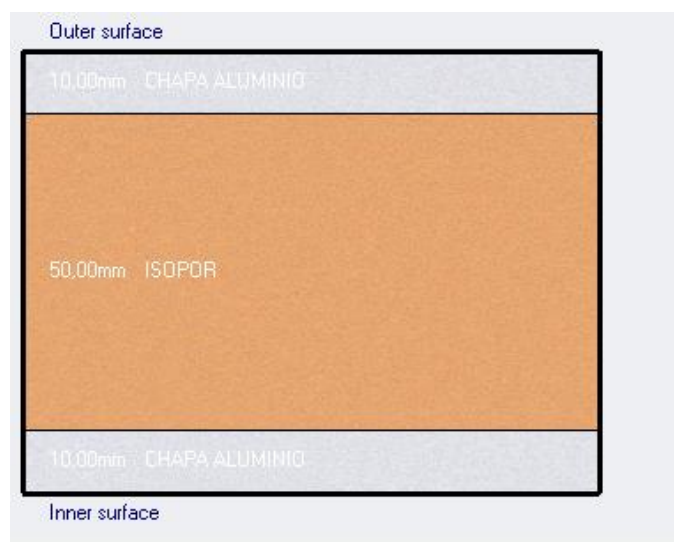


Figura 9.2.2.1: Vista em corte da tipologia construtiva utilizada na estratégia 2

Fonte: (*DesignBuilder*)

<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>0.467</b>
-------------------------	--------------

Figura 9.2.2.2: Transmitância térmica obtida para o sistema de cobertura utilizado na estratégia 2

Fonte: (*DesignBuilder*)

A transmitância térmica do material tem grande impacto no desempenho térmico de uma tipologia construtiva, e este parâmetro foi a principal razão da escolha do sistema de cobertura com telhas termo acústicas. Após realizada a modelagem deste material no *software*, realizou-

se a simulação da edificação com este novo sistema de cobertura sobre toda a edificação para o dia típico utilizado de verão.

Os resultados obtidos a partir da simulação supracitada foram tabelados, e estão aqui apresentados por meio de gráficos comparativos nas figuras 9.2.2.3 e 9.2.2.4. Estes gráficos comparam as temperaturas operativas de pico encontradas para as zonas avaliadas da edificação em estudo no cenário atual, que corresponde a edificação como ela é, e alterado, que corresponde a edificação com a alteração construtiva proposta pela estratégia 2.

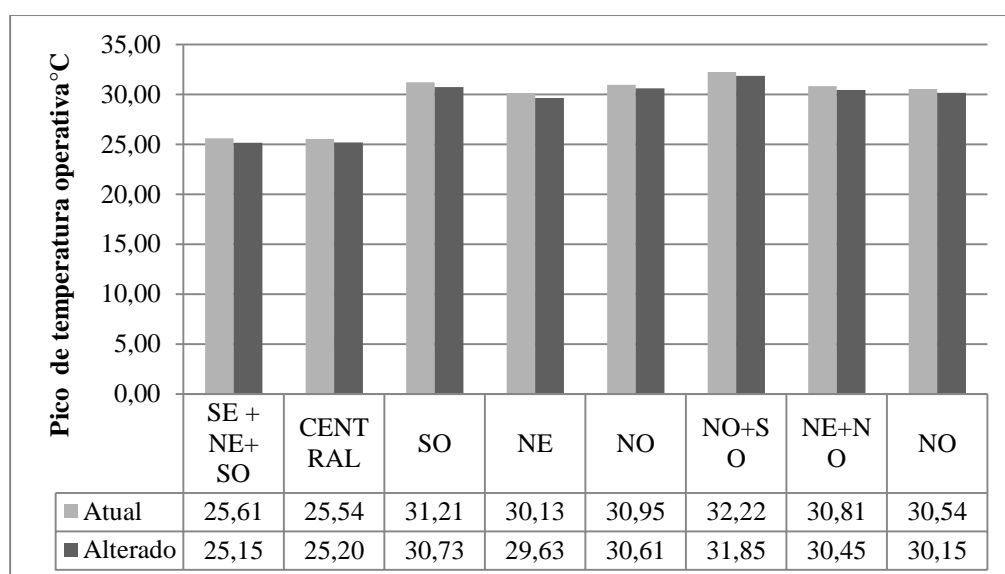


Figura 9.2.2.3: Comparação entre o cenário atual e alterado 2 do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.2.3, nota-se que a estratégia utilizada melhorou o desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas operativas de pico para todas as zonas do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão. A redução média da temperatura operativa de pico das zonas avaliadas para o pavimento térreo utilizando a estratégia 2 foi de 0,41°C.

Outro fato interessante é que a zona que apresentou a maior redução da temperatura operativa a partir da estratégia 2 foi aquela composta pela fachada NE. Nota-se também que a zona composta pelas fachadas noroeste e sudoeste continua apresentando a maior temperatura operativa de pico do pavimento térreo.

Conforme já foi mencionado, a temperatura externa máxima durante o dia típico utilizado de verão é de 29,6°C. Observa-se que as únicas zonas que apresentam temperaturas operativas de pico inferiores a 29,6°C são aquelas compostas pelas fachadas SE+ NE+ SO e central.

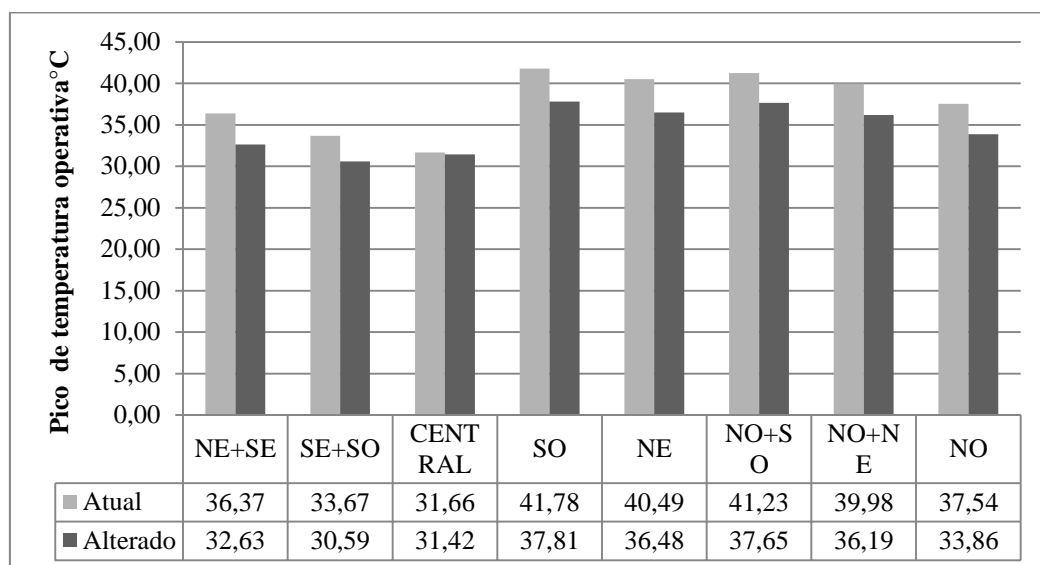


Figura 9.2.2.4: Comparação entre o cenário atual e alterado 2 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

As zonas mais críticas presentes no pavimento superior são aquelas composta pelas fachadas NO + SO, e SO. Estas zonas apresentaram as maiores temperaturas operativas de pico do pavimento, com o valor de 37,81°C e 37,65°C, respectivamente. A partir das figuras 9.2.2.3 e 9.2.2.4, nota-se que a estratégia melhorou o desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas operativas de pico diárias para todas as zonas.

A redução média das temperaturas operativas de pico em função da estratégia 2 durante o dia típico de verão utilizado para o pavimento superior foi de 3,26°C. Sendo assim, nota-se que esta estratégia apresentou impacto maior no pavimento superior, pois a redução média do pavimento superior foi maior que a do pavimento térreo.

Observa-se que a zona composta pela fachada NO + SO apresentou uma redução de 3,58°C, enquanto a zona composta pela fachada SO apresentou uma redução de 3,97°C. Esta redução na temperatura é significativa, mas a edificação ainda se encontra a 8,21°C de se igualar a temperatura externa máxima diária na zona mais crítica, que apresenta uma temperatura operativa de 37,81°C. Sendo assim, a estratégia 2 não é suficiente para atender

aos critérios da temperatura máxima para o dia típico utilizado de verão da norma ABNT NBR 15575:2013, e será analisada uma nova proposta.

### 9.2.3 ESTRATÉGIA 3

A terceira estratégia utilizada consiste na alteração da relação fechamento transparente e opaco. A partir dos resultados obtidos anteriormente, observou-se que as temperaturas operativas de pico do pavimento térreo são menores que as do pavimento superior. Por este motivo, optou-se por alterar a configuração do fechamento externo do pavimento superior, tornando-a idêntica a do pavimento térreo.

Esta estratégia foi realizada após a tentativa de estratégias mais brandas, que não obtiveram o resultado desejado. A primeira proposta descartada simulada foi a alteração do vidro utilizado na edificação, trocando o vidro atual, que consiste em um vidro simples de três milímetros, por um vidro temperado de fator solar de 0,62 e transmitância térmica de 1,96 W/m<sup>2</sup>.K. A segunda proposta descartada foi a utilização de um mecanismo de sombreamento que produzisse um sombreamento de cinquenta por cento, conforme permitido pela norma ABNT NBR 15575:2013.

O procedimento realizado para analisar o resultado da utilização da estratégia 3 no SG 11 consistiu na simulação da edificação alterada, apresentando a mesma tipologia construtiva observada no pavimento térreo, no pavimento superior. As características observadas para o pavimento térreo já foram mencionadas na seção modelagem da edificação no *software*. As figuras 9.2.3.1 e 9.2.3.2 apresentam os gráficos comparativos obtidos entre as temperaturas operativas de pico observadas para a situação da edificação original e após a utilização da estratégia 3.



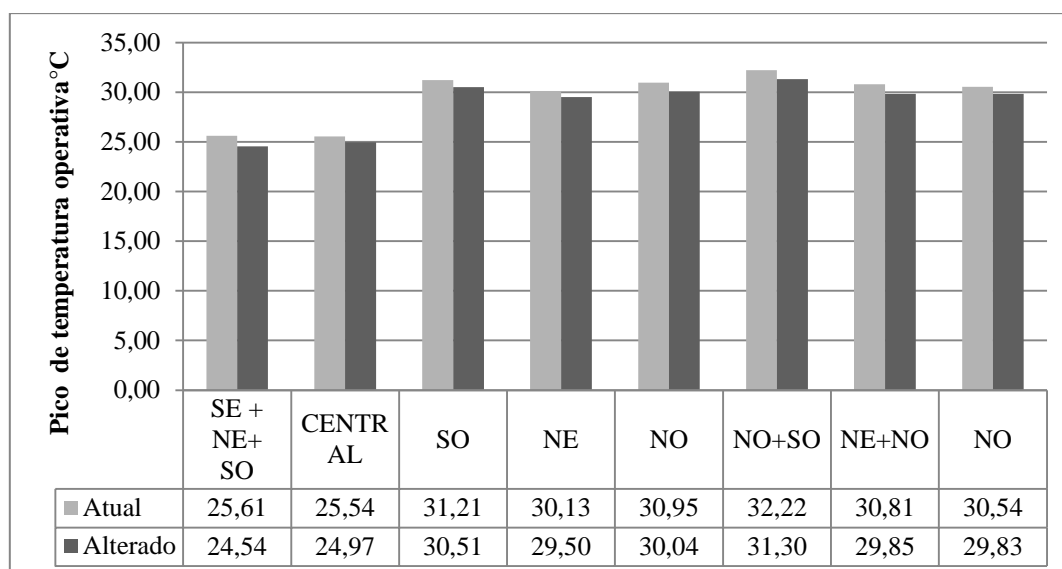


Figura 9.2.3.1: Comparação entre o cenário atual e alterado 3 do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.3.1, observa-se que a estratégia 3 apresentou uma redução das temperaturas operativas de pico para todas as zonas avaliadas do pavimento térreo. Além disso, a redução média das temperaturas operativas de pico para o pavimento térreo foi de 0,81°C.

A zona composta pelas fachadas SE + NE + SO foi a que apresentou a maior redução da temperatura operativa de pico, com o valor de 1,07°C. Já a zona que apresentou a menor redução da temperatura operativa de pico foi a CENTRAL, com o valor de 0,57°C. Dentre as zonas avaliadas, as que apresentam a maior temperatura operativa de pico após a alteração são aquelas compostas pela fachada NO + SO, com o valor de 31,30°C, e a composta pela fachada SO, com o valor de 30,51°C.

Ao analisarmos o pavimento térreo da edificação, pode-se afirmar que segundo os critérios de temperatura máxima para o dia típico utilizado de verão, a estratégia 3 não é suficiente para fazer com que o pavimento térreo da edificação atenda a norma ABNT NBR 15575:2013. Além disso, pode-se afirmar que apenas as zonas SE+ NE +SO, CENTRAL e NE apresentam temperaturas operativas de pico inferiores à temperatura externa no dia típico de verão utilizado.

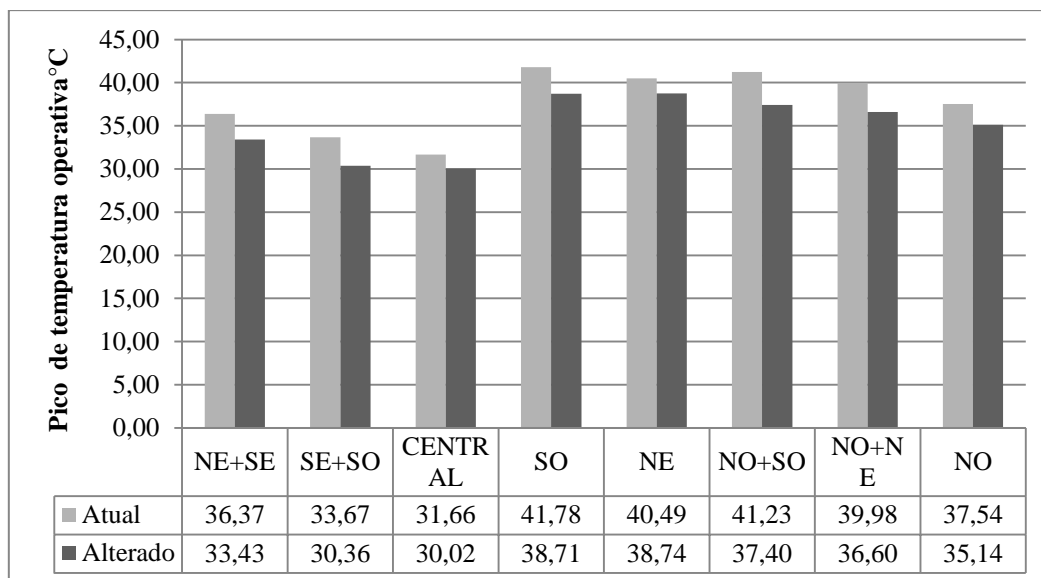


Figura 9.2.3.2: Comparação entre o cenário atual e alterado 3 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.3.2, nota-se que a estratégia 3 melhorou o desempenho térmico do pavimento superior, reduzindo as temperaturas operativas de pico diárias para todas as zonas. A redução média de temperatura operativa de pico obtida pela estratégia supracitada para o pavimento superior foi de 2,72°C.

A redução média da temperatura operativa de pico do pavimento superior é 1,91°C, maior que a redução média da temperatura operativa de pico do pavimento térreo. Este resultado já era esperado, pois o pavimento térreo não sofreu alterações construtivas nesta estratégia.

A zona que apresentou a maior redução da temperatura operativa de pico foi aquela composta pelas fachadas NO + SO, com o valor de 3,83°C. Já a zona que apresentou a menor redução da temperatura operativa de pico foi a CENTRAL, com o valor de 1,64°C.

A redução na temperatura operativa de pico obtida pela estratégia 3 é significativa, e observamos que após esta alteração, a zona que é composta pela fachada nordeste apresenta a maior temperatura operativa de pico, com o valor de 38,74°C. Ao avaliar a temperatura operativa de pico máxima, nota-se que a edificação ainda se encontra a 9,14°C de se igualar a temperatura externa obtida durante o dia típico utilizado de verão, que é de 29,6°C. Além disso, nenhuma das zonas avaliadas do pavimento superior apresentou sua temperatura operativa de pico abaixo da temperatura externa.

Após estas análises, confirmou-se que a estratégia 3 para alteração da edificação não é suficiente para atender ao nível mínimo de desempenho térmico prescrito na norma ABNT NBR 15575:2013, segundo o critério das temperaturas máximas, considerando o dia típico utilizado de verão.

#### 9.2.4 ESTRATÉGIA 4

A partir da análise da estratégia 3, notou-se que a alteração da relação fechamento transparente e opaco gerou bons resultados no que tange ao desempenho térmico da edificação. Sendo assim, a estratégia 4 consiste na manutenção da alteração da relação fechamento transparente e opaco utilizada na estratégia 3, alterando também a tipologia construtiva encontrada no fechamento opaco externo de ambos os pavimentos.

Segundo a norma ABNT NBR 15575:2013, tem-se como parâmetros para avaliação das vedações verticais exteriores a capacidade térmica e a transmitância térmica do fechamento opaco da edificação. Segundo a norma supracitada, para a edificação em estudo o fechamento opaco deve apresentar o valor de transmitância térmica inferior a  $3,7 \text{ W/m}^2\text{.K}$  e o valor de capacidade térmica superior a  $130 \text{ kJ/m}^2\text{.K}$ .

O sistema de vedação vertical presente na edificação original apresenta a transmitância térmica de  $4,87 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , o qual não está em conformidade com a norma supracitada. Além disso, este fechamento opaco apresenta capacidade térmica de  $71,3 \text{ kJ/m}^2\text{.K}$ , o que também não está em conformidade com a norma citada acima. Devido a estes motivos, realizou-se uma busca de materiais que possam atender a este critério da norma, e consequentemente melhorar o desempenho térmico da edificação.

Sendo assim, os parâmetros norteadores desta busca foram os valores de transmitância e capacidade térmica. A norma ABNT NBR 15220:2008 apresenta a caracterização dos diversos tipos de fechamentos opacos existentes, onde se encontram os valores típicos de transmitância e capacidade térmica destes.

Após a análise dos mais diversos fechamentos externos, optou-se por utilizar um fechamento opaco composto por cinco camadas. Este fechamento é composto por duas camadas externas 2,5 centímetros de argamassa brasileira, pintada de branca externamente,

duas camadas blocos cerâmicos de 9 centímetros de espessura, separados por uma cavidade 1 centímetro, conforme detalhado na figura 9.2.4.1.

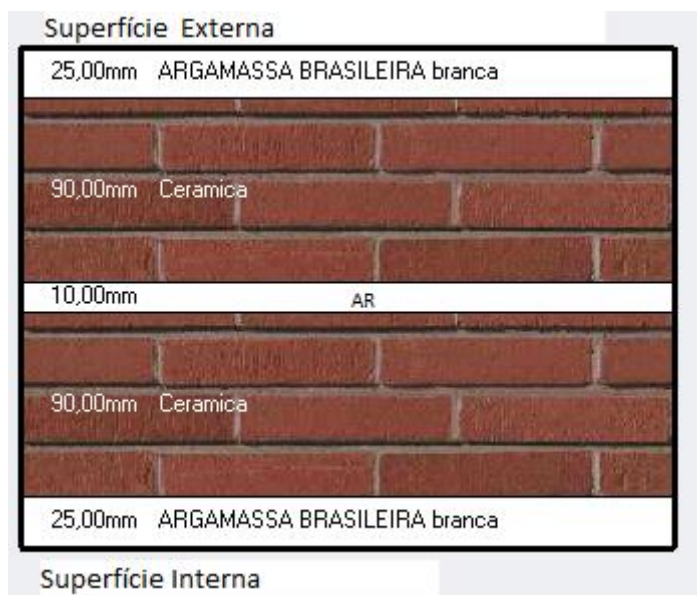


Figura 9.2.4.1: Vista em corte da tipologia construtiva utilizada como vedação vertical externa na estratégia 4

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A nova tipologia construtiva apresentada na figura 9.2.4.1 apresenta uma transmitância térmica de  $1,77 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , e o valor de capacidade térmica de  $186,75 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ . Esta nova tipologia construtiva está em conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013, segundo o critério da transmitância térmica e da capacidade térmica para vedações verticais.

Definida a nova tipologia construtiva a ser utilizada para o sistema de vedação vertical exterior, foi realizada a simulação da edificação com as alterações definidas para a estratégia 4. As figuras 9.2.4.2 e 9.2.4.3 apresentam os resultados obtidos para a avaliação das zonas selecionadas durante o dia típico utilizado de verão, por meio de um gráfico comparativo das temperaturas operativas de pico observadas e aquelas obtidas a partir da edificação original.

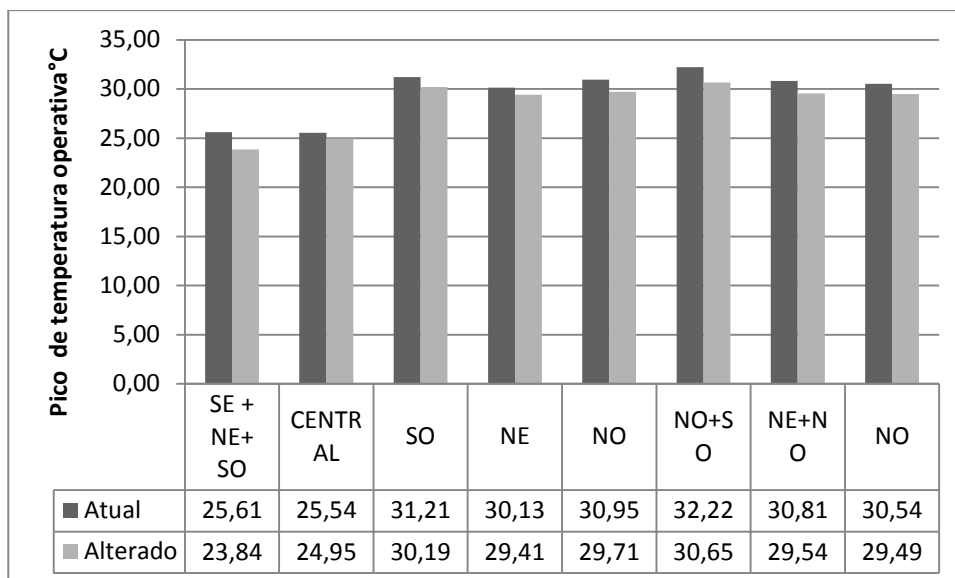


Figura 9.2.4.2: Comparação entre o cenário atual e alterado 4 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.4.2, nota-se que a estratégia utilizada melhorou o desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas operativas de pico para todas as zonas do pavimento térreo durante o dia típico utilizado de verão. A redução média da temperatura operativa de pico das zonas avaliadas para o pavimento térreo utilizando a estratégia 4 foi de 1,15°C.

Outro fato interessante é que a zona que apresentou a maior redução da temperatura operativa de pico a partir da estratégia 4 foi aquela composta pela fachada SE + NE + SO, de 1,77°C. Por outro lado, a zona que apresentou a menor redução da temperatura operativa de pico foi a central, com o valor de 0,59°C.

A zona composta pelas fachadas noroeste e sudoeste continua apresentando a maior temperatura operativa de pico do pavimento térreo, com o valor de 30,65°C. Conforme já foi mencionado, a temperatura externa máxima durante o dia típico utilizado de verão é de 29,6°C. Sendo assim, nota-se que as zonas que apresentam temperaturas operativas de pico inferiores a 29,6°C são aquelas compostas pelas fachadas SE+ NE+ SO, CENTRAL, NE, NE+ NO e NO.

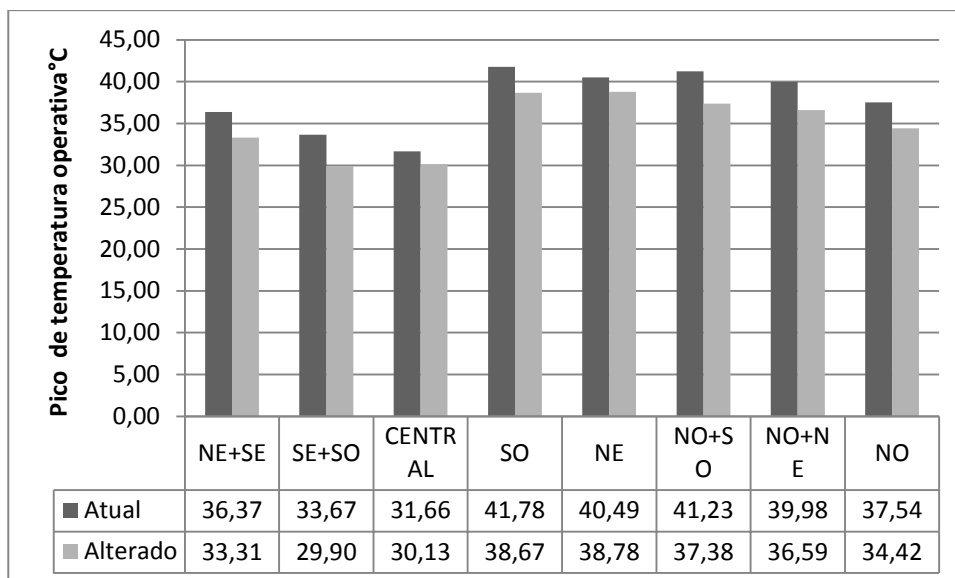


Figura 9.2.4.3: Comparação entre o cenário atual e alterado 4 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.4.3, nota-se que a estratégia 4 melhorou o desempenho térmico do pavimento superior, reduzindo as temperaturas operativas de pico diárias para todas as zonas. A redução média de temperatura operativa de pico obtida pela estratégia 4 para o pavimento superior foi de 2,98°C.

A zona que apresentou a maior redução da temperatura operativa de pico foi aquela composta pelas fachadas NO + SO, com o valor de 3,85°C. Já a zona que apresentou a menor redução da temperatura operativa de pico foi a CENTRAL, com o valor de 1,53°C.

A redução na temperatura operativa de pico obtida pela estratégia 4 é significativa, e observamos que após esta alteração, a zona que é composta pela fachada nordeste apresenta a maior temperatura operativa de pico, com o valor de 38,78°C. Ao avaliar a temperatura operativa de pico máxima, nota-se que a edificação ainda se encontra a 9,18°C de se igualar a temperatura externa obtida durante o dia típico utilizado de verão, que é de 29,6°C. Além disso, nenhuma das zonas avaliadas do pavimento superior apresentou sua temperatura operativa de pico inferior à temperatura externa.

Após estas análises, confirmou-se que a estratégia 4 para alteração da edificação não é suficiente para atender ao nível mínimo de desempenho térmico prescrito pela norma ABNT

NBR 15575:2013, segundo o critério das temperaturas máximas, considerando o dia típico utilizado de verão.

#### 9.2.5 ESTRATÉGIA 5

Tendo realizado as simulações e análises destas quatro estratégias, notou-se que a edificação ainda está muito distante de estar em conformidade com o critério de temperatura máxima estabelecido pela norma ABNT NBR 15575:2013 durante o dia típico utilizado de verão. Por isso, decidiu-se unir o melhor resultado obtido para os sistemas de cobertura e o melhor resultado para alteração do sistema de vedação vertical, os quais correspondem as estratégias 2 e 4, respectivamente.

A estratégia 5 corresponde a edificação original com um sistema de cobertura composto por telhas termo acústicas, tendo o pavimento superior uma relação de fechamento transparente e opaco idêntica a do pavimento superior, e o sistema de vedação vertical composto por uma camada dupla de alvenaria rebocada com cavidade. As análises dos parâmetros de transmitância térmica e capacidade térmica destes materiais se encontram nas suas respectivas estratégias.

A simulação da edificação com as alterações definidas para a estratégia 5 foi realizada durante o dia típico utilizado de verão. Os resultados obtidos foram organizados por meio da tabela 9.2.5.1, a qual apresenta as temperaturas operativas de pico das zonas avaliadas por pavimento e os índices de Fanger PMV, tendo sido destacadas as temperaturas operativas que não estão de acordo com a norma ABNT NBR 15575:2013.

Tabela 9.2.5.1: Simulação das principais zonas durante o dia típico utilizado de verão para a estratégia 5

Pavimento	Zona	Localização	Temperatura Externa (°C)	Pico de temperatura operativa (°C)	Fanger PMV
Pavimento Inferior	1	SE + NE+ SO	29,60	23,26	-0,47
	3	CENTRAL	29,60	24,50	-0,12
	8	SO	29,60	29,61	1,57
	21	NE	29,60	28,81	1,35
	26	NO	29,60	29,28	1,47
	24	NO+SO	29,60	30,20	1,72
	5	NE+NO	29,60	29,10	1,42
	16	NO	29,60	29,01	1,39
Pavimento Superior	1	NE+SE	29,60	30,07	1,70
	2	SE+SO	29,60	26,61	0,49
	CIRC	CENTRAL	29,60	29,54	1,34
	6	SO	29,60	34,75	3,10
	17	NE	29,60	34,84	3,13
	24	NO+SO	29,60	34,02	2,89
	11	NO+NE	29,60	33,49	2,74
	16	NO	29,60	31,16	1,90

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da tabela 9.2.5.1, observa-se que a edificação ainda apresenta as zonas destacadas em não conformidade com o critério de temperatura máxima estabelecido pela norma ABNT NBR 15575:2013 para o dia típico utilizado de verão. A zona que apresenta maior distância em relação ao cumprimento do critério das temperaturas máximas da norma ABNT NBR 15575:2013 é a 17, que é composta pela fachada nordeste, apresentando a temperatura operativa de pico 5,24°C superior a temperatura externa.

Apesar disso, as alterações propostas pela estratégia 5 nesta edificação contribuíram para uma redução significativa da temperatura operativa de pico apresentada pelas zonas estudadas desta edificação. As figuras 9.2.5.1 e 9.2.5.2 apresentam um gráfico comparativo entre as temperaturas operativas de pico da edificação original e após as alterações definidas pela estratégia 5.



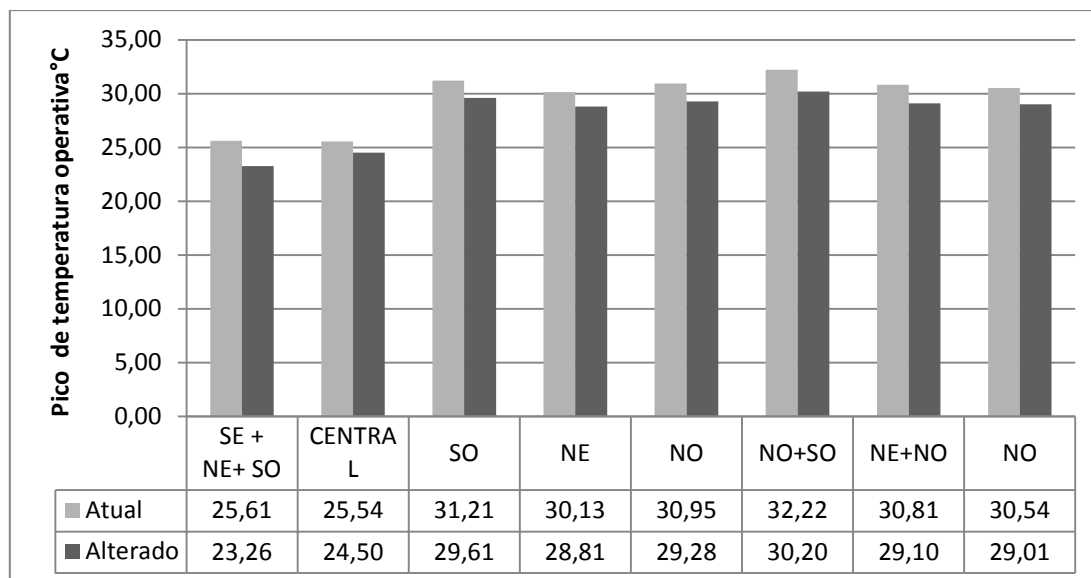


Figura 9.2.5.1: Comparação entre o cenário atual e alterado 5 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.5.1, nota-se que a estratégia adotada apresentou resultados significativos para o pavimento térreo no que tange a redução da temperatura operativa de pico. A redução média de temperatura operativa de pico para o pavimento térreo durante o dia utilizado típico foi de 1,66°C.

Outro fato interessante é que a maior redução da temperatura operativa de pico foi obtida para a zona composta pelas fachadas sudeste, nordeste e sudoeste, com o valor de 2,35°C, enquanto a menor redução da temperatura operativa de pico foi encontrada na zona central, com o valor de 1,04°C. A maior temperatura operativa de pico encontrada neste pavimento é de 30,20°C, e encontra-se na zona que é composta pelas fachadas noroeste e sudoeste.

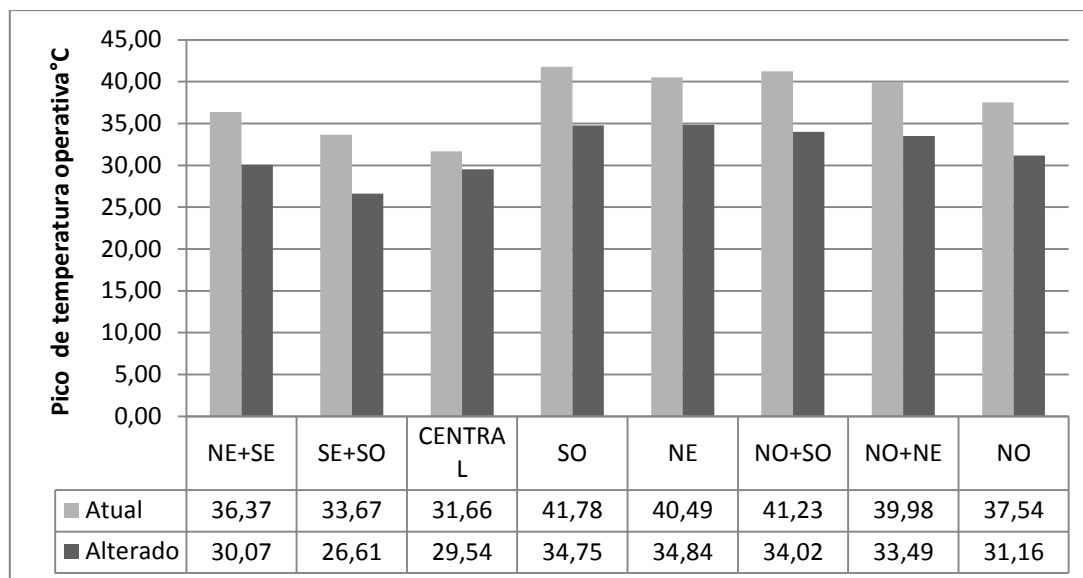


Figura 9.2.5.2: Comparação entre o cenário atual e alterado 5 do pavimento superior durante o dia típico utilizado de verão

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da figura 9.2.5.2, nota-se que a estratégia 5 melhorou muito o desempenho térmico da edificação, reduzindo as temperaturas operativas de pico para todas as zonas estudadas. Observa-se também que a maior temperatura operativa de pico encontrada é de 34,84°C, e localiza-se na zona que é composta pela fachada nordeste.

A redução média da temperatura operativa de pico das zonas estudadas foi de 6,03°C, com destaque para a zona 24, que é composta pelas fachadas noroeste e sudoeste, que apresentou a maior redução da temperatura operativa de pico, com o valor de 7,21°C. Por outro lado, a zona central apresentou a menor redução da temperatura operativa de pico, com o valor de 2,12°C.

A tabela 9.2.5.2 apresenta a tabela resumo dos resultados obtidos pelas estratégias aplicadas à edificação para o dia típico utilizado de verão, estando destacadas as temperaturas operativas de pico das zonas que apresentaram valores superiores à temperatura externa.

Tabela 9.2.5.2: Tabela resumo da edificação segundo as estratégias utilizadas durante o dia típico de verão utilizado

Pavimento	Zona	Localização	Temperatura Externa (°C)	Cenário Atual	Pico de temperatura operativa (°C)				
					Estratégias				
					1	2	3	4	5
Pavimento Inferior	1	SE + NE+ SO	29,6	25,61	25,16	25,15	24,54	23,84	23,26
	3	CENTRAL	29,6	25,54	25,11	25,20	24,97	24,95	24,50
	8	SO	29,6	31,21	30,72	30,73	30,51	30,19	29,61
	21	NE	29,6	30,13	29,63	29,63	29,50	29,41	28,81
	26	NO	29,6	30,95	30,57	30,61	30,04	29,71	29,28
	24	NO+SO	29,6	32,22	31,84	31,85	31,30	30,65	30,20
	5	NE+NO	29,6	30,81	30,45	30,45	29,85	29,54	29,10
	16	NO	29,6	30,54	30,12	30,15	29,83	29,49	29,01
Redução média do pavimento inferior (°C)					0,43	0,41	0,81	1,15	1,66
Pavimento Superior	1	NE+SE	29,6	36,37	34,26	32,63	33,43	33,31	30,07
	2	SE+SO	29,6	33,67	31,76	30,59	30,36	29,90	26,61
	CIRC	CENTRAL	29,6	31,66	29,98	31,42	30,02	30,13	29,54
	6	SO	29,6	41,78	39,34	37,81	38,71	38,67	34,75
	17	NE	29,6	40,49	37,85	36,48	38,74	38,78	34,84
	24	NO+SO	29,6	41,23	39,36	37,65	37,40	37,38	34,02
	11	NO+NE	29,6	39,98	38,00	36,19	36,60	36,59	33,49
	16	NO	29,6	37,54	35,20	33,86	35,14	34,42	31,16
Redução média do pavimento superior (°C)					2,12	3,26	2,72	2,98	6,03

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Após a aplicação das diversas estratégias de alterações construtivas do SG 11 para o dia típico utilizado de verão, isto é, considerando o funcionamento da edificação, notou-se que é possível melhorar o desempenho térmico da edificação. Apesar disso, as alterações propostas pela estratégia 5, que apresentou os melhores resultados, são muito complexas e trabalhosas, o que pode ser indesejável.

O atendimento ao nível mínimo da norma ABNT NBR 15575:2013 segundo o critério das temperaturas máximas não foi atendido ao se considerar a utilização da edificação, mesmo adotando a estratégia 5.

Sendo assim, este estudo sugere que o dimensionamento de um sistema de resfriamento artificial pode ser uma solução para o atendimento ao critério mínimo das temperaturas máximas exigido pela norma ABNT NBR 15575:2013 durante o dia típico utilizado de verão.

### 9.3 AVALIAÇÃO DO DIA TÍPICO DE INVERNO

A semana típica de inverno vai do dia 03 a 09 de maio. Para realizar tal avaliação, foram exportados do *DesignBuilder* os dados de temperatura operativa, temperatura externa, e índice Fanger PMV do software entre o período supracitado. A partir desta tabela, os dados de temperatura externa foram ordenados de maneira crescente.

A temperatura mínima encontrada durante a semana típica de inverno foi observada no dia 09 de maio de 2002, às cinco horas da manhã, conforme ilustrado pela tabela 9.3.1. O valor encontrado para a temperatura externa é de 18,2°C, que ainda está a 8,2°C da temperatura mínima prescrita pela norma ABNT NBR 15575:2013 para o dia típico de inverno.

Tabela 9.3.1: Simulação do SG 11 para a semana típica de inverno

Data/Hora	Temperatura Externa (°C)
<b>09-05-02 5:00</b>	<b>18,2</b>
09-05-02 4:00	18,5
03-05-02 7:00	18,6
03-05-02 2:00	18,7
03-05-02 3:00	18,7
05-05-02 6:00	18,7
03-05-02 4:00	18,8
03-05-02 5:00	18,8
03-05-02 6:00	18,8

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Com o objetivo de encontrar o dia que apresente a temperatura externa mais próxima à prescrita pela norma ABNT NBR 15575:2013 para o dia típico de inverno, a edificação foi simulada para todo o inverno, entre o período de 21 de junho e 23 de setembro. A partir daí, observa-se algumas datas que apresentam a mesma temperatura externa do dia típico de inverno, que é de 10°C. A tabela 9.3.2 apresenta os valores encontrados.

Tabela 9.3.2: Simulação do SG 11 para o inverno

Data/Hora	Fanger PMV	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Externa (°C)
<b>30-07-02 5:00</b>	<b>-1,14</b>	<b>16,18</b>	<b>10,00</b>
<b>30-07-02 6:00</b>	<b>-1,19</b>	<b>15,93</b>	<b>10,00</b>
17-08-02 6:00	-0,32	19,77	10,00
17-08-02 7:00	-0,39	19,49	10,00
29-08-02 7:00	-0,46	19,63	10,00
30-08-02 7:00	-0,37	19,96	10,00
08-09-02 4:00	0,29	22,64	10,00
19-09-02 6:00	-0,36	19,80	10,00
19-09-02 7:00	-0,41	19,87	10,00

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

As menores temperaturas operativas da edificação encontram-se durante o dia 30 de julho. Visando obter uma caracterização mais detalhada da edificação, e ciente das diferenças construtivas dos dois pavimentos, foram realizadas simulações para o pavimento térreo e superior. O mesmo procedimento aplicado a edificação inteira foi realizado para os dois pavimentos, mas desta vez as temperatura operativas foram ordenadas de maneira crescente, estando estas apresentadas nas tabela 9.3.3 e 9.3.4.

Tabela 9.3.3: Simulação do pavimento térreo do SG 11 para o dia típico de inverno

Pavimento térreo			
Data/Hora	Fanger PMV	Temperatura Operativa (°C)	Temperatura Externa (°C)
<b>30/07/2002 06:00</b>	<b>-1,31</b>	<b>15,44</b>	<b>10,00</b>
<b>30/07/2002 05:00</b>	<b>-1,28</b>	<b>15,61</b>	<b>10,00</b>
17/08/2002 06:00	-0,66	18,22	10,00
17/08/2002 07:00	-0,70	18,01	10,00
29/08/2002 07:00	-0,79	18,10	10,00
30/08/2002 07:00	-0,72	18,33	10,00
08/09/2002 04:00	-0,18	20,42	10,00
19/09/2002 06:00	-0,69	18,28	10,00
19/09/2002 07:00	-0,75	18,21	10,00

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

A partir da tabela 9.3.3, nota-se que o dia 30 de julho é o mais problemático em relação ao critério da temperatura mínima da norma ABNT NBR 15575:2013. Além disso, o índice de

Fanger PMV aponta para um valor de -1,31, que indica uma sensação térmica do usuário de levemente frio a frio, segundo a escala sétima do índice.

Tabela 9.3.4: Simulação do pavimento superior do SG 11 para o dia típico de inverno

<b>Pavimento Superior</b>			
<b>Data/Hora</b>	<b>Fanger PMV</b>	<b>Temperatura Operativa (°C)</b>	<b>Temperatura Externa (°C)</b>
<b>30/07/2002 06:00</b>	<b>-1,09</b>	<b>16,35</b>	<b>10,00</b>
<b>30/07/2002 05:00</b>	<b>-1,02</b>	<b>16,70</b>	<b>10,00</b>
17/08/2002 06:00	0,00	21,24	10,00
17/08/2002 07:00	-0,08	20,90	10,00
29/08/2002 07:00	-0,15	21,08	10,00
30/08/2002 07:00	-0,03	21,51	10,00
08/09/2002 04:00	0,77	24,86	10,00
19/09/2002 06:00	-0,05	21,25	10,00
19/09/2002 07:00	-0,08	21,46	10,00

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Ao analisar as tabelas 9.3.3 e 9.3.4, nota-se que o pavimento térreo é o mais problemático quanto ao critério da temperatura mínima do dia típico de inverno da norma ABNT NBR 15575:2013, por apresentar a menor temperatura operativa. Além disso, nota-se que apenas o dia 30 de julho apresenta desconforto térmico de acordo com os critérios estabelecidos por Givoni (1992), estando este apontado em negrito.

O dia 30 de julho apresenta os menores valores de temperatura operativa às seis horas da manhã, tanto para a análise da edificação inteira, quanto para a análise pavimento à pavimento. Ressalta-se que, conforme especificado pela norma ABNT NBR 15575:2013, a edificação no dia 30 de julho não está sendo considerada em utilização, por se tratar de um dos meses de férias escolares. Por esses motivos, o dia 30 de julho é adotado como o dia típico de inverno.

As salas presentes no SG 11 têm diferentes características, tais como orientação, volume, características construtivas e atividades desenvolvidas. Visando obter uma visão mais detalhada acerca do comportamento térmico da edificação, foi realizada a análise das mesmas zonas selecionadas para o verão, porém durante o inverno. A tabela 9.3.5 apresenta as temperaturas operativas mínimas encontradas durante o dia típico de inverno.

Tabela 9.3.5: Simulação das diferentes zonas para o dia típico de inverno

Pavimento	Zona	Localização	Temperatura externa (°C)	Temperatura externa segundo o critério mínimo da norma (°C)	Temperatura mínima operativa (°C)	Fanger PMV
Pavimento Térreo	1	SE + NE+ SO	10	13	15,03	-1,38
	3	CENTRAL	10	13	15,56	-1,28
	8	SO	10	13	14,96	-1,40
	21	NE	10	13	15,40	-1,31
	26	NO	10	13	15,29	-1,33
	24	NO+SO	10	13	15,14	-1,36
	5	NE+NO	10	13	15,78	-1,23
	16	NO	10	13	15,86	-1,22
Pavimento Superior	1	NE+SE	10	13	15,96	-0,43
	2	SE+SO	10	13	15,61	-1,26
	CIRC	CENTRAL	10	13	17,44	-0,90
	6	SO	10	13	15,54	-1,28
	17	NE	10	13	16,27	-1,14
	24	NO+SO	10	13	15,90	-1,21
	11	NO+NE	10	13	16,51	-1,09
	16	NO	10	13	17,24	-1,39

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)

Os valores encontrados de menor temperatura operativa por pavimento estão destacados na tabela 9.3.5. As zonas que apresentam a menor temperatura operativa durante o dia típico de inverno são a zona 8 do pavimento térreo e a zona 6 do pavimento superior, sendo ambas compostas pela fachada sudoeste.

Segundo o critério da temperatura mínima para o dia típico de inverno da norma ABNT NBR 15575:2013, a temperatura operativa mínima diária deve superar em 3°C a temperatura externa mínima. Conforme mencionado anteriormente, a temperatura mínima do dia 30 de julho é de 10°C, ou seja, a temperatura operativa mínima deve ser maior que 13°C durante dia típico de inverno. Sendo assim, a edificação está em conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013.

O índice de Fanger PMV apresenta o maior valor em módulo para o pavimento superior de 1,28, que é classificado como levemente frio a frio segundo a escala sétima do índice. Já o pavimento inferior apresenta o maior valor absoluto de 1,40, que também é classificado como

levemente frio a frio segundo a escala sétima do índice. Além disso, todas as zonas avaliadas apresentam desconforto térmico segundo o critério de Givoni (1992), ou seja, temperatura operativa inferior a 18°C.

É desejável que uma ferramenta visual de fácil compreensão acerca desse estudo seja realizada. Tendo isso em vista, a tabela 9.3.6 foi criada, fazendo a comparação entre o dia típico de verão, o dia típico de inverno e o dia típico de verão utilizado.

Pavimento	Zona	Localização	Dia típico de inverno		Dia típico de verão		Dia típico de verão utilizado	
			Temperatura externa segundo o critério mínimo da norma (°C)	Temperatura mínima operativa (°C)	Temperatura externa (°C)	Pico de temperatura operativa (°C)	Temperatura externa (°C)	Pico de temperatura operativa (°C)
Pavimento Térreo	1	SE + NE+ SO	13	15,03	31	21,31	29,6	25,61
	3	CENTRAL	13	15,56	31	19,49	29,6	25,54
	8	SO	13	14,96	31	20,05	29,6	31,21
	21	NE	13	15,40	31	19,74	29,6	30,13
	26	NO	13	15,29	31	21,20	29,6	30,95
	24	NO+SO	13	15,14	31	21,84	29,6	32,22
	5	NE+NO	13	15,78	31	21,51	29,6	30,81
Pavimento Superior	16	NO	13	15,86	31	21,00	29,6	30,54
	1	NE+SE	13	15,96	31	26,78	29,6	36,37
	2	SE+SO	13	15,61	31	26,20	29,6	33,67
	CIRC	CENTRAL	13	17,44	31	24,45	29,6	31,66
	6	SO	13	15,54	31	25,45	29,6	41,78
	17	NE	13	16,27	31	25,36	29,6	40,49
	24	NO+SO	13	15,90	31	27,03	29,6	41,23
	11	NO+NE	13	16,51	31	27,43	29,6	39,98
	16	NO	13	17,24	31	26,53	29,6	37,54

Figura 9.3.1: Resumo dos dias analisados neste trabalho

Fonte: (Adaptado de: *DesignBuilder*)



## 10. CONCLUSÃO

A edificação do SG 11 apresentou resultado satisfatório em relação ao critério mínimo de desempenho térmico estabelecido pela norma ABNT NBR 15575:2013 para o dia típico de verão e para o dia típico de inverno, quanto à simulação computacional. Apesar disso, foi realizada a análise da edificação em utilização, e observou-se o não atendimento a norma citada acima.

Quanto ao requisito de exigência de desempenho térmico mínimo de verão estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575-1:2013, avaliou-se a edificação por meio do critério de valores máximos de temperatura no verão, e verificou-se que a edificação apresenta temperaturas internas inferiores às externas, o que está em conformidade com a norma supracitada. Além disso, todas as zonas avaliadas da edificação estão na zona de conforto estabelecida por Givoni (1992) no dia típico de verão.

Quanto ao requisito de exigência de desempenho térmico mínimo de inverno, avaliou-se a edificação por meio do critério de valores mínimos de temperatura no inverno, e o prédio apresentou temperaturas internas superiores às externas, com uma diferença superior a 3°C, o que está em conformidade com a norma em questão. A edificação foi classificada como levemente fria a fria no dia típico de inverno, pelo índice de Fanger PMV. Além disso, apresentou todas suas temperaturas internas fora da zona de conforto prescrita por Givoni (1992).

Após obter estes resultados da edificação atual, fizeram-se propostas de alterações das tipologias construtivas presentes na mesma, visando atingir os critérios de desempenho térmico mínimo da norma ABNT NBR 15575:2013 considerando a edificação em utilização, no denominado dia típico utilizado de verão neste trabalho, o qual apresenta temperaturas operativas muito acima da temperatura externa máxima.

A primeira estratégia se baseia na melhoria do desempenho térmico do pavimento superior por meio da alteração da cor da cobertura. Nesta proposta, é simulada a edificação com os mesmos materiais constituintes da cobertura atual, apenas pintando a camada mais externa da cobertura de branco. Houve uma melhoria no desempenho térmico da edificação em todas as zonas avaliadas, apresentando uma redução média de temperatura operativa de pico de 0,43°C para o pavimento térreo e de 2,12°C para o pavimento superior. A zona mais crítica avaliada nesta estratégia se apresenta 9,74°C acima da temperatura externa máxima.

A segunda estratégia se baseia na melhoria do desempenho térmico do pavimento superior por meio da alteração do sistema de cobertura da edificação. Nesta proposta, a edificação é simulada com telhas termo acústicas de alumínio, as quais são compostas por um par de chapas de alumínio de um centímetro, separadas por cinco centímetros de isopor. Este material apresentou o valor de transmitância térmica conforme a norma ABNT NBR 15575:2013. Houve uma melhoria no desempenho térmico da edificação em todas as zonas avaliadas, apresentando uma redução média de temperatura operativa de pico de 0,41°C para

o pavimento térreo e de 3,26°C para o pavimento superior. A zona mais crítica avaliada nesta estratégia se apresenta 8,21°C acima da temperatura externa máxima.

A terceira estratégia consistiu na alteração da relação entre vedação externa opaca e transparente do pavimento superior. Neste caso, observou-se que o pavimento térreo apresentava um desempenho térmico melhor que o superior. Por isso, o sistema de vedação vertical do pavimento térreo, que apresenta a relação entre fechamento transparente e opaco de 24%, foi repetido para o pavimento acima. Esta alteração apresentou uma melhoria no desempenho térmico da edificação em relação ao dia típico utilizado de verão, apresentando uma redução média de temperatura operativa de pico de 0,81°C para o pavimento térreo e de 2,72°C para o pavimento superior. A zona mais crítica avaliada nesta estratégia se apresenta 9,14°C acima da temperatura externa máxima.

A quarta estratégia consistiu na alteração da relação fechamento opaco e transparente da edificação presente no sistema de vedação vertical exterior, juntamente com a alteração da tipologia construtiva do fechamento opaco. A relação fechamento opaco e transparente utilizada foi a mesma do pavimento térreo, enquanto a nova tipologia construtiva consistia em uma parede dupla rebocada de blocos cerâmicos com cavidade de 1 centímetro. Este material apresentou o valor de transmitância térmica e capacidade térmica conforme a norma ABNT NBR 15575:2013. Houve uma melhoria no desempenho térmico da edificação em todas as zonas avaliadas, apresentando uma redução média de temperatura operativa de pico de 1,15°C para o pavimento térreo e de 2,98°C para o pavimento superior. A zona mais crítica avaliada nesta estratégia se apresenta 9,18°C acima da temperatura externa máxima.

A quinta estratégia se baseou na combinação das estratégias 2 e 4 de alteração da edificação, devido à distância de 12,18°C entre a situação real da edificação e a situação de conformidade com a norma ABNT NBR 15575:2013 para o dia típico utilizado de verão. Esta estratégia se baseia no uso de telhas termo acústicas de alumínio, juntamente com a alteração da relação fechamento opaco e transparente do pavimento superior e alteração do fechamento externo opaco. Houve uma melhoria no desempenho térmico da edificação em todas as zonas avaliadas, apresentando uma redução média de temperatura operativa de pico de 1,66°C para o pavimento térreo e de 6,03°C para o pavimento superior. A zona mais crítica avaliada nesta estratégia se apresenta 5,24°C acima da temperatura externa máxima.

Apesar da grande melhoria obtida pela estratégia 5, a edificação continua em não conformidade com o critério de desempenho térmico mínimo da ABNT NBR 15575:2013 segundo o dia típico utilizado de verão. Além disso, nenhuma das estratégias adotadas foi suficiente para se atingir a situação de conforto térmico segundo o critério de Givoni (1992), considerando a utilização da edificação.

A ferramenta computacional *DesignBuilder* mostrou desempenho satisfatório para as análises termoenergéticas esperadas neste trabalho. Apesar disso, o *software* apresenta algumas limitações, sendo a principal o fato de não apresentar uma biblioteca com os materiais brasileiros, os quais por vezes divergem dos americanos, exigindo o trabalho de criar os materiais sempre que necessário.

Sugere-se para trabalhos futuros a realização de análises de eficiência energética e conforto aos usuários das edificações presentes no campus da UnB ainda não estudadas. Quanto ao SG 11, sugere-se que sejam levantados os dados do sistema de resfriamento atual da edificação, e caso seja necessário, sejam propostas possíveis alterações dos mesmos. Além disso, é de grande interesse que seja realizado um estudo de caso da sala do Laboratório de Automação e Robótica (LARA), em que um sistema de resfriamento evaporativo já foi implantado e vem apresentando resultados interessantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, C. N. D. **Simulação do desempenho energético de edifícios de escritório em Brasília**. Brasília, 2010. 3p.

ANDREASI, W. A.; SILVA, J. N.; **Estudo das variáveis climáticas internas que influenciam no conforto térmico e na eficiência energética das edificações**. Campo grande, 2004. 16p.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. ASHRAE. Atlanta-GA. 2009. 926 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de Edifício - Requisitos. Rio de Janeiro, 1999. 06 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1992. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**. Informação e Documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 1: Definições, símbolos e Unidades. ABNT, 2003. 07 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. ABNT, 2003. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT, 2003. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. ABNT, 2013. 83 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - SVVIE. ABNT, 2013. 75 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**. Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para Sistemas de Coberturas. ABNT, 2013. 73 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**. Instalação de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. ABNT, 2013. 73 p.

AZEVEDO, F. C. S. **Aplicação de CFD no estudo do comportamento térmico de edifícios**. PORTO, 2009. 73p.

- BARRY, R. **Atmosfera, clima e tempo**. 2012, 528p.
- CAMARGO, J. U. **Resfriamento Evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente**. Taubaté, 2004.7p.
- COSTA, M. F. C. C. **Aplicação do DesignBuilder à avaliação de soluções de aquecimento e arrefecimento de edifícios para diferentes zonas climáticas portuguesas**. Porto, 2013.110p.
- DIAS, A.S. **Avaliação do desempenho térmico de cobertura metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. Ouro Preto, 2011. 110p.
- EDDRIS, L.L.M. - **Análises térmicas de edificação utilizando softwares de simulação**. Brasília, 2013. 80p.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013**. Rio de Janeiro, 2013.
- GARRIDO, D. E. S. **Avaliação do desempenho energético de um grande edifício de serviços existente**. Porto, 2013. 156p.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2 ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345p.
- GOLDEMBEG, J.; LUNCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo, 2007. 14p.
- IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Avaliação do desempenho térmico e energético de edificações e projetos**. Disponível em: < [http://www.ipt.br/solucoes/190-avaliacao\\_do\\_desempenho\\_termico\\_e\\_energetico\\_de\\_edificacoes\\_e\\_projetos.htm](http://www.ipt.br/solucoes/190-avaliacao_do_desempenho_termico_e_energetico_de_edificacoes_e_projetos.htm)>. Acesso em 14 Dezembro de 2014.
- LIMA, T. B. S **Qualidade ambiental e arquitetônica em edifícios de escritórios: diretrizes para projetos em Brasília**. Brasília, 2010. 275p.
- LIMA, I. S. P. **Insolação em edificações**. Pernambuco, 2006.7 p.
- LABEEE, **Apostila de Desempenho Térmico em Edificações**, 2005.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.
- LOPES, R. M. F. **Otimização do Desempenho Energético de um Edifício Residencial em Portugal**. Florianópolis, 2010. 200p.
- MACIEL, A. C. F. **Energia incorporada de fachadas ventiladas. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília-DF**. Brasília, 2013. 147p.
- NUNES, M. B. M. M. **UnB: uma interface com a urbanidade**. Belém, 2007. 19p.

PAD, Programa de Aperfeiçoamento Discente. **A história da habitação brasileira contada nas revistas especializadas (1920-2000)**, 2004. Disponível em <[http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/04\\_revistas](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/04_revistas)>. Acesso em 17 de Dezembro de 2014.

RODRIGUES, M. C. B. P. **Eficiência energética no setor residencial**. Coimbra, 2011. 106p.

SANTOS, B. V. J. **Aplicação de um Sistema de Cogeração em um Hotel Econômico**. São Paulo, 2010. 10p.

SCHLEE, A. R. **Olhares: visão sobre a obra de João Figueiras Lima**. Brasília: Editora UnB Brasília, 2010. 107 p.

SILVA, C. R. C. **Aplicativo computacional para simulação da obtenção de eficiência energética na indústria**. Blumenau, 2006. 107p

SÍTIO DA UNB, disponível em <http://www.unb.br/unb/historia/resumo.php> Acesso em: 27 de julho de 2014.

SÍTIO DA ENGENHARIA ELÉTRICA, disponível em [http://www.ene.unb.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56&Itemid=60](http://www.ene.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=60). Acesso em: 27 de junho de 2014.

SÍTIO DO DESIGN BUILDER, disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk>>. Acesso em: 27 de junho de 2014.

SÍTIO DO GOOGLE MAPS, Disponível em: <<https://maps.google.com.br>>. Acesso em: 25 de maio de 2014.

SÍTIO DO ANAVIDROS, Disponível em: <<http://www.anavidro.com.br/o-que-e-vidro-low-e-2/>>. Acesso: Julho de 2014.

SÍTIO DO LIGHTHOME, Disponível em: <<http://www.anavidro.com.br/o-que-e-vidro-low-e-2/>>. Acesso em 22 de Agosto de 2014.

SÍTIO DO LABEEE, Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br>>. Acesso em 22 de Agosto de 2014.

SÍTIO WIKIARQUITECTURA, Disponível em: <[http://pt.wikiarquitectura.com/index.php/Edif%C3%ADcio\\_Seagram](http://pt.wikiarquitectura.com/index.php/Edif%C3%ADcio_Seagram)>. Acesso em 03 de Fevereiro de 2015.

TORGAL, F. P. **Breve análise da estratégia da União Europeia (UE) para eficiência energética do ambiente construído**. Porto Alegre, 2013. 10p

VILLANI, E. **Abordagem híbrida para modelagem de sistemas de Ar condicionado em edifícios inteligentes**. São Paulo, 2000. 168 p.

XAVIER, A. F. ; FISBERG, L. **Acropole: Edição Especial da Universidade de Brasília**. Centro de Planejamento Urbanístico da Universidade de Brasília. Janeiro/Fevereiro 1970.